Le manufacturier québécois face à la révolution techno-industrielle mondiale

Caractéristiques économiques, robotisation et maturité technologique comparées

Rédaction

Hubert Rioux, Ph.D., chercheur permanent à l'IRÉC, Montréal

Jonathan Ramacieri, M.A., économiste à l'IRÉC, Trois-Rivières

Août 2022

Sommaire exécutif

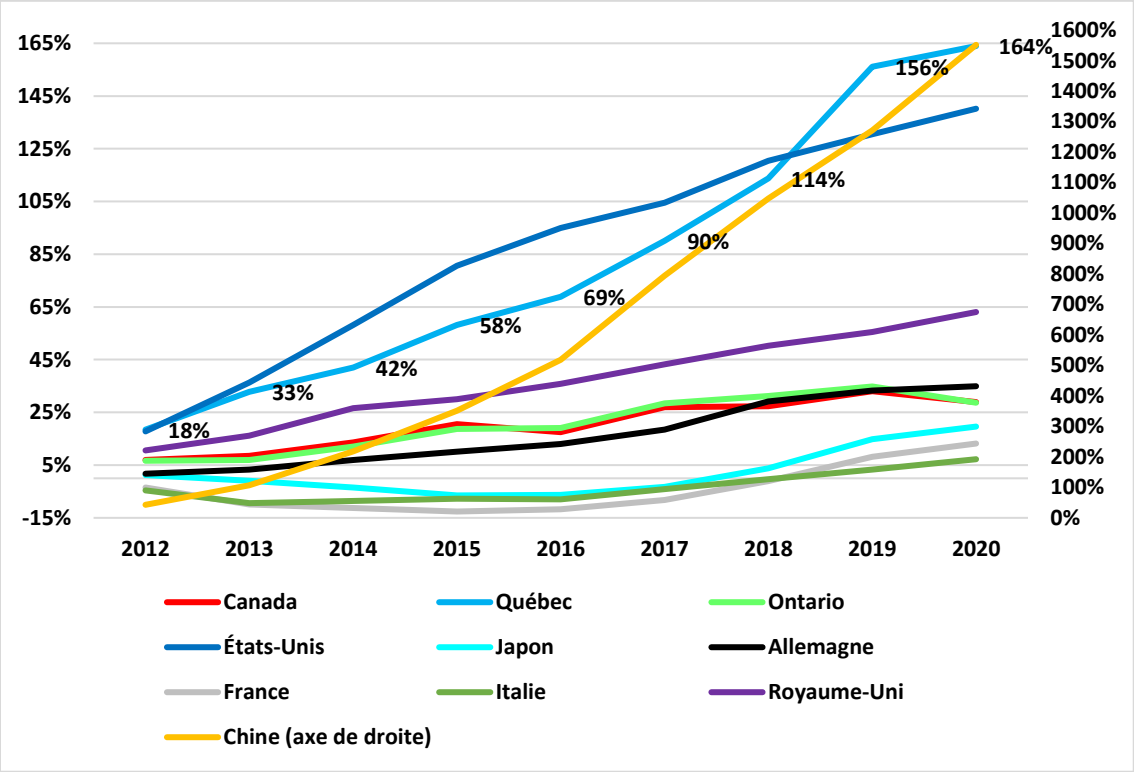
Contexte et principaux constats

La crise sanitaire a accentué l'importance de la R&D, de l'innovation et surtout, de la modernisation technologique des entreprises manufacturières. Le présent rapport s'intéresse, dans une perspective comparative, à la maturité technologique du secteur manufacturier québécois à la fois au niveau des technologies d'automatisation « traditionnelles » 3.0. puis des technologies « émergentes » 4.0., tout en portant une importance particulière à la robotique industrielle.

Les installations annuelles comme le stock de robots industriels opérationnels du Canada restent très fortement concentrés en Ontario, ce qui reflète l'importance clef de l'industrie automobile dans cette province. De manière générale, depuis le début des années 2000, la robotisation industrielle semble néanmoins avoir relativement peu progressé aux échelles canadienne et ontarienne; en revanche, ***le Québec a effectué un « grand rattrapage », s'étant robotisé beaucoup plus rapidement que l'Ontario ou le Canada dans son ensemble.***

De 2011 à 2020, le stock de robots opérationnels de l'industrie manufacturière au Québec a explosé de plus de 160% (de moins de 1400 à près de 3700 robots)*, alors que cette croissance n'a été que d'environ 30% en Ontario (18 800 à 24 200 robots) et au Canada pris dans son ensemble (23 600 à 30 400 robots).*

Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur manufacturier (année de référence = 2011)

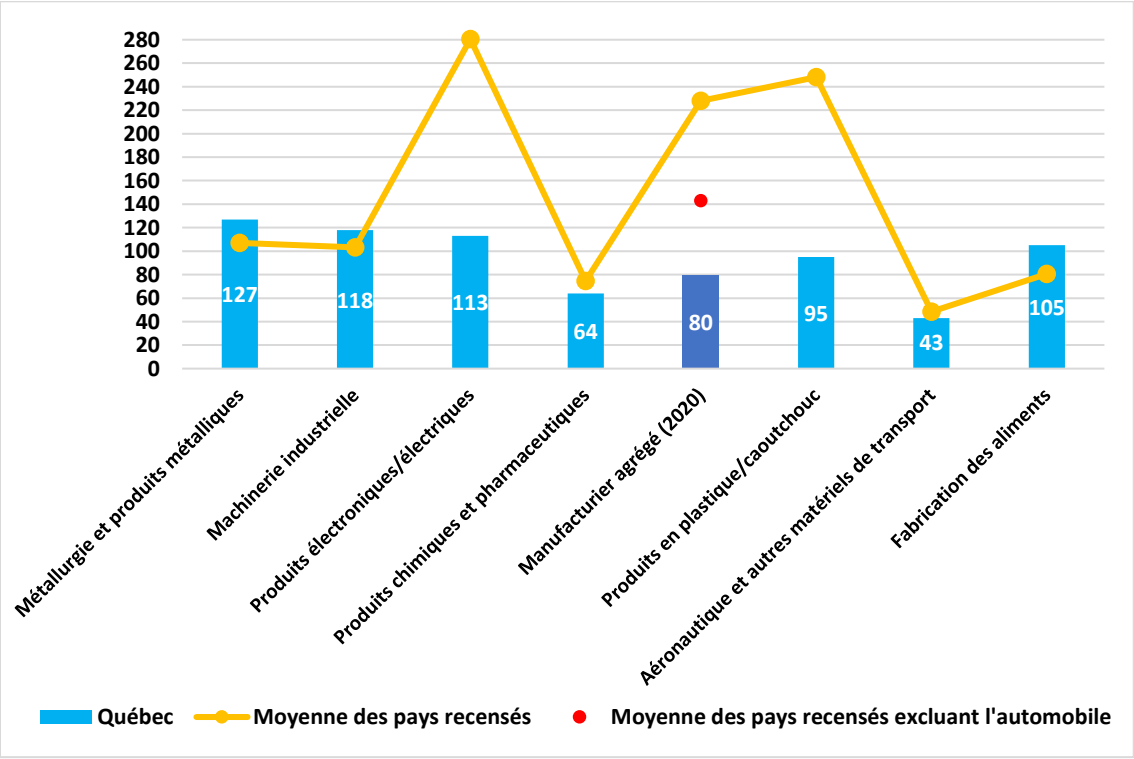


L'une des caractéristiques économiques du manufacturier québécois portant probablement le plus à conséquence en termes d'innovation et, ultimement, de maturité technologique est le fait que, dans la majorité de ses sous-secteurs, ***les dépenses en R&D engagées par les entreprises sont, proportionnellement et en moyenne, assez largement inférieures à celles des principaux concurrents et partenaires commerciaux du Québec****.*

Par ailleurs, dans la majorité des secteurs étudiés comme pour le manufacturier dans son ensemble, ***la productivité du travail québécoise est généralement et parfois largement inférieure à celle des autres économies avancées. Ce retard est en partie compensé toutefois par une productivité du capital souvent légèrement, voire assez substantiellement supérieure à la moyenne****. Même si cette avance s'explique en partie par des investissements en capital fixe moins importants qu'ailleurs (à l'exception de l'Ontario et du reste du Canada), cet indicateur démontre que le Québec manufacturier demeure efficace et compétitif : il est en mesure, pour le dire simplement, de produire plus ou en tout cas, de produire autant que les autres économies avancées, toutes proportions gardées, avec moins.*

Dans certains créneaux où le Québec fait relativement bien en termes de productivité du capital, il s'avère également que sa densité robotique (robots opérationnels par tranche de 10,000 employés) soit, selon nos estimations, assez comparable à celles des autres économies avancées ou alors même, légèrement supérieure*; c'est apparemment le cas, notamment, des secteurs de la machinerie, des produits chimiques et pharmaceutiques, puis de l'aéronautique et autres matériels de transport (hors-automobile). Cependant, on observe la relation inverse dans d'autres secteurs.*

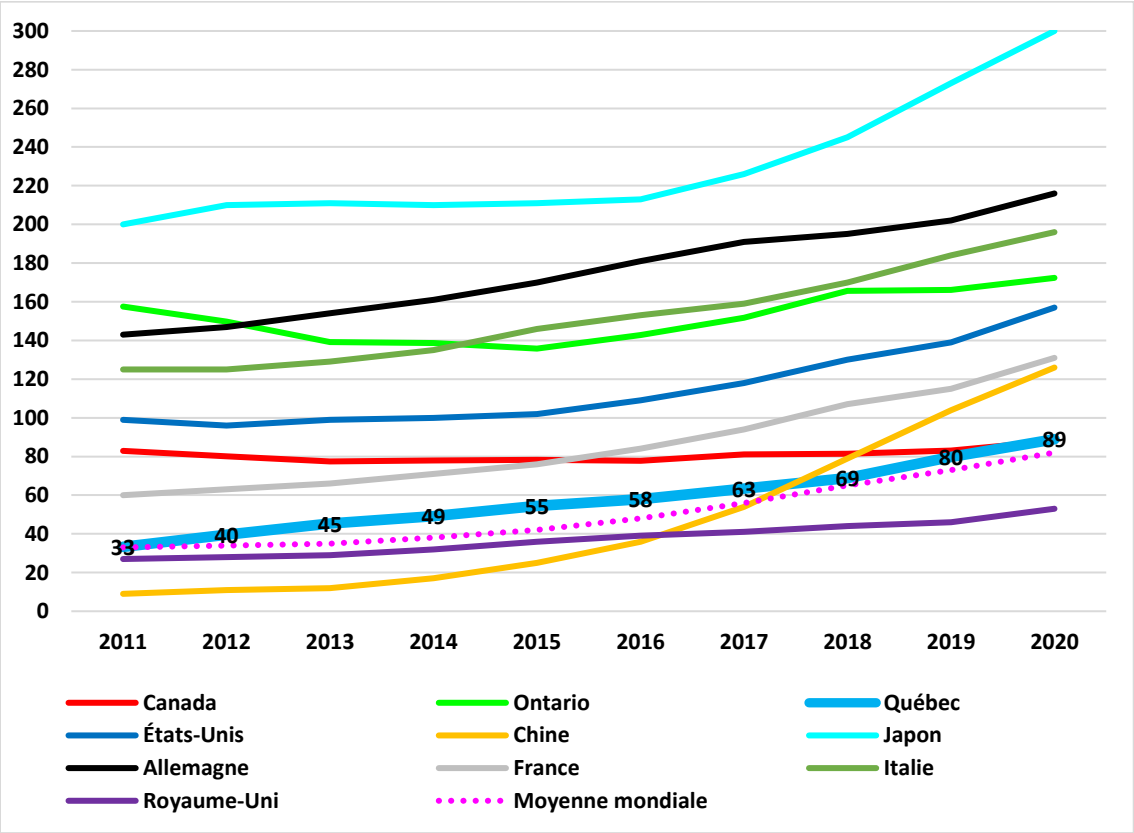
Densité robotique comparée des différents secteurs manufacturiers québécois (2019)



Les pays qui performent le mieux en termes de densité robotique manufacturière sont pour la plupart de grandes puissances de l'industrie automobile *: Corée du Sud, Japon, Allemagne, États-Unis, Ontario, Chine, France et dans une moindre mesure, Italie et Royaume-Uni. Cela s'explique aisément, car l'industrie automobile est de loin la plus automatisée parmi les différents secteurs manufacturiers, ayant pris le virage de la robotisation bien avant les autres pour une foule de raisons. Ainsi, il est approprié de comparer la densité robotique des secteurs manufacturiers nationaux en excluant de l'équation l'industrie automobile.*

Un portrait nuancé de la situation apparaît alors : le Japon (300 robots/10,000 employés) et l'Allemagne (216) demeurent au sommet des secteurs manufacturiers les plus robotisées, mais l'Italie (196) s'y hisse également. L'Ontario, à 172, redescend à un niveau comparable à celui des États-Unis (157) et ***à 89 robots/10,000 employés, le manufacturier québécois surpasse le niveau atteint par le Canada (88) et distance le Royaume-Uni (53) comme, d'ailleurs, la moyenne mondiale (82) ou des économies avancées sans secteur automobile, telles que l'Australie et la Nouvelle-Zélande, la Norvège, le Portugal, la République tchèque ou l'Irlande****. Le Québec n'est même, selon cette mesure, pas très loin de la Chine (126 robots/10,000 employés).*

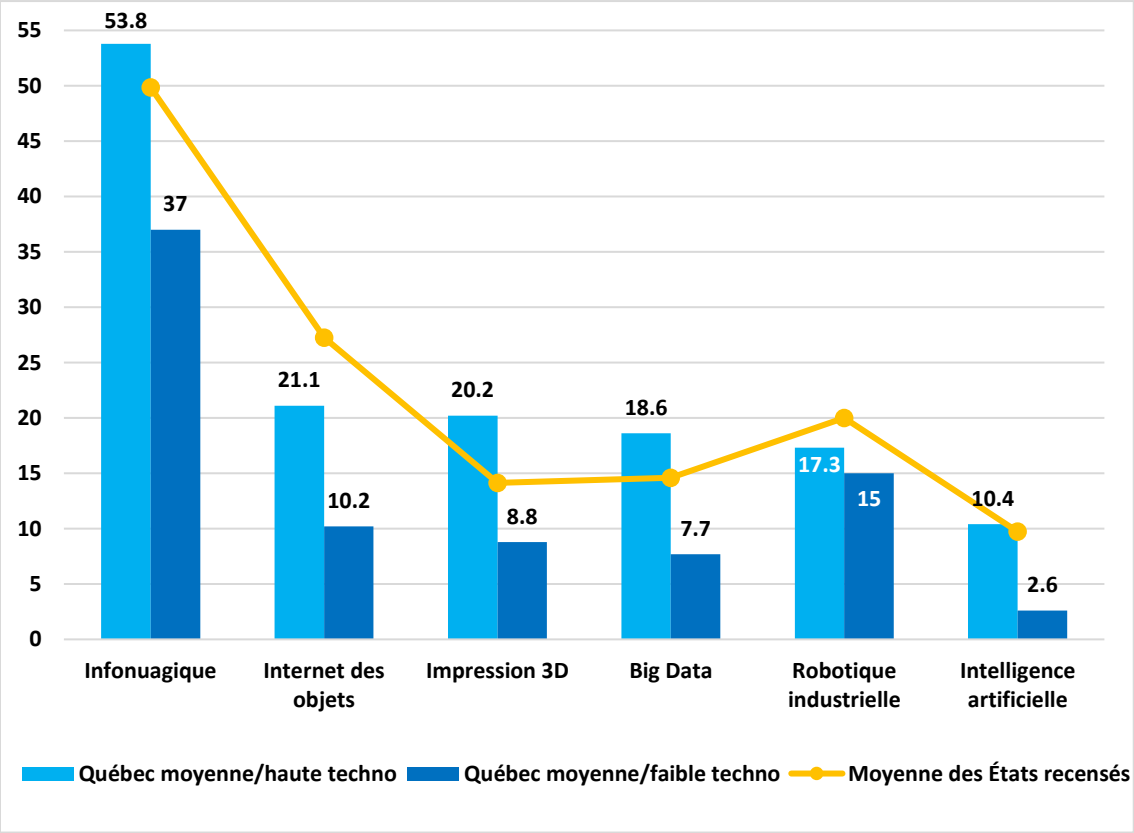
Densité robotique du secteur manufacturier *excluant l'automobile* (robots opérationnels/10,000 employés)



En ce qui concerne l'adoption de la robotique comme de la plupart des autres technologies 3.0. et 4.0., il faut par ailleurs bien distinguer entre les secteurs manufacturiers de faible ou de moyenne-faible technologie (par exemple, la fabrication des aliments) puis les créneaux de moyenne-haute ou de haute technologie (par exemple, l'aérospatiale), qui n'ont souvent pas les mêmes besoins ou les mêmes moyens et ne sont donc évidemment pas aux mêmes niveaux. De manière générale et en particulier bien sûr en ce qui concerne les créneaux de moyenne/haute technologie, le Québec manufacturier se situe en milieu de peloton, voire parfois parmi les leaders à l'échelle internationale (c'est le cas en ce qui concerne l'utilisation de l'infonuagique, de l'intelligence artificielle/big data ou de l'impression 3D, par exemple).

Si, de manière générale et malgré quelques exceptions (ex. équipement électrique, métallurgie, produits métalliques, aérospatiale, aliments), ***le manufacturier québécois semble avoir accumulé un certain retard sur le reste du Canada et souvent, sur d'autres économies avancées en ce qui concerne l'adoption de la robotique et d'autres technologies d'automatisation 3.0.,*** *retard qui est d'ailleurs en voie d'être partiellement, voire totalement comblé dans le cas de la robotique, on peut remarquer en revanche que dans bien des secteurs,* ***le Québec manufacturier semble être passé directement au 4.0. et avoir ainsi accumulé une légère avance sur ses concurrents canadiens et parfois, internationaux.***

Part (%) des entreprises manufacturières qui utilise des technologies d'automatisation 4.0., Québec comparé par niveau technologique



Secteurs du matériel de transport (automobile, aéronautique et autres)

Avec une densité robotique que nous avons estimée à 43 robots/10,000 employés, le Québec fait dans les secteurs du transport hors-automobile (aérospatiale, ferroviaire, naval, véhicules récréatifs) et grâce particulièrement à son industrie aéronautique de pointe, très bonne figure et surpasse assez largement non seulement le Canada dans son ensemble (23/10,000), mais également d'autres puissances de l'aéronautique dont le Royaume-Uni (23/10,000) et les États-Unis (15/10,000).

Secteur alimentaire

À environ 17 robots/10,000 employés en date de 2019, le secteur canadien de la fabrication des aliments est de loin le moins robotisé parmi les pays recensés. Le Québec fait ici clairement bande à part. Selon nos calculs, la densité robotique du secteur alimentaire québécois, à 105/10,000, surpasse donc largement celle du Canada et plus ou moins largement celle des autres pays recensés, à l'exception notable de l'Italie.

Secteurs chimique et pharmaceutique

L'industrie chimique/pharmaceutique québécoise est parmi les plus technologiquement matures au Canada et même, à l'échelle internationale. Dans le créneau des produits chimiques (incluant le pharmaceutique mais excluant la pétrochimie), nous avons estimé à 64 robots/10,000 employés la densité robotique québécoise, ce qui la situerait entre l'Allemagne à 64/10,000, puis la France à 71/10,000. Le Canada, à 80/10,000, est en devant de peloton au-dessus du Japon (74) mais derrière les États-Unis (86) et l'Italie (138.

Secteurs de la métallurgie et des produits métalliques

Compte tenu de l'importance de ces industries au Québec, la densité robotique d'ensemble des créneaux de la métallurgie et des produits métalliques y est, à environ 127 robots/10,000 employés, assez largement supérieure à celle du Canada (71/10,000) ou des États-Unis (80) et plutôt similaire à celle de la France (118) ou de l'Allemagne (130). Le Québec est néanmoins encore en retard sur les leaders mondiaux que sont en cette matière les industries métallurgiques et des produits métalliques du Japon (170 robots /10,000 employés) et d'Italie (194).

Secteur de la machinerie

À 118 robots/10,000 employés, la densité robotique de l'industrie québécoise de la machinerie était, en date de 2019, à peu près au niveau de celle de l'Italie mais loin derrière celle de la France (209) ou du Japon (183). Elle était toutefois largement supérieure à la densité robotique des industries britannique (32), américaine (42) et canadienne (52), puis légèrement plus importante que celle de la Chine (93) ou de l'Allemagne (97).

Secteurs de l'électronique/électrique

*Sur le plan de la densité robotique, les industries québécoises de l'équipement électronique et électrique étaient, en date de 2019, à peu près au même niveau que leurs concurrentes canadiennes (113 robots/10,000 employés contre 117, respectivement) mais également, loin devant le Royaume-Uni (36/10,000) et l'Italie (77) puis au pair ou presque avec la France (115) ou l'Allemagne (125). Ces industries sont donc, au Québec, pratiquement autant sinon plus robotisées qu'elles ne le sont partout ailleurs sauf chez les grandes puissances de l'électronique que sont les États-*Unis *(332/10,000), la Chine (460) ou le Japon (983).*

Secteurs du plastique/caoutchouc

À seulement 95 robots/10,000 employés selon nos estimations, la densité robotique du secteur québécois des produits en plastique/caoutchouc demeure relativement faible, inférieure à la densité moyenne canadienne pour ce secteur (116/10,000) et très largement inférieure aux niveaux atteints par la plupart des économies avancées, dont les États-Unis (208), la France (242), l'Italie (387) ou l'Allemagne (412).

Table des matières

Sommaire exécutif

Graphiques, tableaux et études de cas

Introduction : éléments de contexte et présentation du rapport

Chapitre 1. Le secteur manufacturier : perspectives générales

- **Faits saillants**
- **1.1. Perspectives économiques comparées**
- **1.2. Maturité technologique comparée**
  - ***1.2.1. Utilisation de la robotique***
  - ***1.2.2. Utilisation des technologies 3.0. et 4.0.***

Chapitre 2. Le secteur du matériel de transport

- **Faits saillants**
- **2.1. Le secteur automobile**
  - ***2.1.1. Caractéristiques économiques comparées***
  - ***2.1.2. Maturité technologique comparée***
- **2.2. Le secteur aéronautique et autres matériels de transport**
  - ***2.2.1. Caractéristiques économiques comparées***
  - ***2.2.2. Maturité technologique comparée***

Chapitre 3. Le secteur de la fabrication des aliments

- **Faits saillants**
- **3.1. Caractéristiques économiques comparées**
- **3.2. Maturité technologique comparée**

Chapitre 4. Le secteur des produits chimiques et pharmaceutiques

Faits saillants

4.1. Caractéristiques économiques comparées

4.2. Maturité technologique comparée

Chapitre 5. Les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques

Faits saillants

5.1. Caractéristiques économiques comparées

5.2. Maturité technologique comparée

5.3. Le secteur de la machinerie

5.3.1. Caractéristiques économiques comparées

5.3.2. Maturité technologique comparée

5.4. Les secteurs de l'équipement électronique et électrique

5.4.1. Caractéristiques économiques comparées

5.4.2. Maturité technologique comparée

Chapitre 6. Le secteur des produits en plastique et caoutchouc

Faits saillants

6.1. Caractéristiques économiques comparées

6.2. Maturité technologique comparée

Conclusions et principaux constats

Bibliographie

Notes et références

Graphiques, tableaux et études de cas

Introduction

Graphique 1. Variation du PIB des différentes industries du secteur de la fabrication du Québec

Graphique 2. Selon-vous, la crise sanitaire a en général surtout, au Québec (sondage, n=70)

Tableau 1. Éléments de définition d'un robot industriel

Graphique 3. Robots industriels opérationnels par fonction et par pays, en % du stock total de robots (tous secteurs économiques)

Graphique 4. Part (%) du stock total de robots industriels opérationnels, par type de robot et par pays

Graphique 5. Part (%) du stock mondial de robots industriels opérationnels, par région et par secteur manufacturier

Graphique 6. Coût d'acquisition moyen d'un robot industriel et nombre d'installations annuelles (unités) dans le secteur manufacturier à l'échelle mondiale

Graphique 7. Importations totales de robots industriels par province

Graphique 8. Part respective de l'Ontario et du Québec en % des importations totales canadiennes de robots industriels

Graphique 9. Installations annuelles de robots industriels par pays, tous secteurs économiques

Graphique 10. Croissance cumulative du stock de robots industriels opérationnels par pays, tous secteurs

Graphique 11. Part (%) de l'Ontario et du Québec dans le stock total de robots industriels opérationnels du Canada (tous secteurs économiques)

Graphique 12. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur manufacturier

Tableau 2. Structure du rapport

Chapitre 1. Le secteur manufacturier (ISIC 10-33)

Graphique 13. Nombre d'entreprises manufacturières par million d'habitants

Tableau 3. Nombre total d'entreprises manufacturières en opération, Québec comparé

Graphique 14. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur manufacturier

Tableau 4. Nombre total d'emplois manufacturiers, Québec comparé

Tableau 5. Taille moyenne des entreprises manufacturières, Québec comparé

Graphique 15. Part (%) du PIB manufacturier dans l'ensemble de l'économie

Tableau 6. PIB manufacturier, Québec comparé

Tableau 7. Top-3 des principaux secteurs manufacturiers, Québec comparé

Graphique 16. PIB par entreprise manufacturière

Graphique 17. PIB par emploi manufacturier

Graphique 18. Valeur des exportations de haute technologie en % des exportations manufacturières

Graphique 19. Valeur des exportations manufacturières en % du PIB manufacturier

Tableau 8. Exportations manufacturières totales, Québec comparé

Graphique 20. Valeur des importations manufacturières en % du PIB manufacturier

Tableau 9. Importations manufacturières totales, Québec comparé

Graphique 21. Valeur de la balance commerciale manufacturière en % du PIB manufacturier

Tableau 10. Balance commerciale manufacturière, Québec comparé

Graphique 22. Dépenses en R&D manufacturière pour chaque million de $ de PIB du secteur manufacturier

Tableau 11. Dépenses en R&D manufacturière, Québec comparé

Graphique 23. PIB manufacturier pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur manufacturier

Tableau 12. Formation brute de capital fixe, secteur manufacturier, Québec comparé

Tableau 13. Classification des secteurs manufacturiers québécois par niveaux technologiques

Graphique 24. Installations annuelles de robots industriels par pays, secteur manufacturier

Graphique 25. Stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur manufacturier

Graphique 26. Densité robotique du secteur manufacturier par pays

Graphique 27. Croissance cumulative 2011-2020 de la densité robotique du secteur manufacturier, par pays

Graphique 28. Densité robotique du secteur manufacturier *excluant l'automobile*

Graphique 29. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilisent la robotique industrielle, par pays/État

Graphique 30. Part (%) des entreprises ayant effectué des dépenses pour l'acquisition ou le développement de technologies de l'information et des communications, Québec

Graphique 31. Raisons (% des répondants) pour lesquelles les entreprises manufacturières n'utilisent pas de technologies de pointe et/ou émergentes

Graphique 32. Part (%) des entreprises manufacturières utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes

Graphique 33. Part (%) des entreprises manufacturières utilisant des technologies propres

Graphique 34. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilisent l'infonuagique

Graphique 35. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilisent l'Internet des objets

Graphique 36. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilisent l'analyse des données

Graphique 37. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilisent l'apprentissage automatique/intelligence artificielle

Étude de cas # 1. *Omnirobotic* (Québec)

Graphique 38. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilisent l'impression 3D/fabrication additive

Étude de cas # 2. *3M* (États-Unis)

Chapitre 2. Le secteur du matériel de transport (ISIC 29-30)

2.1. Le secteur automobile (ISIC 29)

Graphique 39. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteur de l'automobile

Graphique 40. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur de l'automobile

Graphique 41. PIB par entreprise, secteur automobile

Graphique 42. PIB par emplois, secteur automobile

Graphique 43. Valeur de la balance commerciale du secteur automobile en % du PIB du secteur automobile

Graphique 44. Dépenses en R&D du secteur automobile pour chaque million de $ de PIB du secteur automobile

Graphique 45. PIB du secteur automobile pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur automobile

Tableau 14. Stock robotique du secteur automobile

Graphique 46. Installations de robots industriels du secteur automobile, par pays

Graphique 47. Installations de robots industriels par le secteur automobile en % des installations du secteur manufacturier, par pays

Graphique 48. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur automobile

Graphique 49. Stock de robots industriels opérationnels du secteur automobile en % du stock total du secteur manufacturier, par pays

Graphique 50. Densité robotique du secteur automobile par pays

Étude de cas # 3. *Chang'an Automobile* (Chine)

Graphique 51. Part (%) des entreprises manufacturières du secteur de la fabrication de pièces pour véhicules automobiles utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes

2.2. Le secteur aéronautique et autres matériels de transport (ISIC 30)

Graphique 52. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteur aéronautique et autres matériels de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs)

Graphique 53. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur aéronautique et autres matériels de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs)

Graphique 54. PIB par emploi, secteur aéronautique et autres matériels de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs)

Graphique 55. Valeur de la balance commerciale du secteur aéronautique et autres matériels de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs) en % du PIB du secteur aéronautique et autres matériels de transport

Graphique 56. Dépenses en R&D du secteur aéronautique et autres matériel de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs) pour chaque million de PIB du secteur aéronautique et autres matériels de transport

Graphique 57. Graphique 57. PIB du secteur de l'aéronautique et autres matériel de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs) pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur de l'aéronautique et autres matériel de transport

Tableau 15. Stock robotique du secteur aéronautique et autres matériels de transport

Graphique 58. Stock de robots industriels opérationnels du secteur du matériel de transport/aéronautique sauf automobiles en % du stock total du secteur manufacturier, par pays

Graphique 59. Densité robotique du secteur du matériel de transport/aéronautique sauf automobiles

Graphique 60. Part (%) des entreprises manufacturières du secteur de la fabrication de produits aérospatiaux et de leurs pièces utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes

Étude de cas # 4. *Industries Leesta Ltée.* (Québec)

Étude de cas #5. *Safran Aircraft Engines* (France)

Étude de cas #6. *Airbus Commercial Aircraft* (Allemagne)

Chapitre 3. Le secteur de la fabrication des aliments (ISIC 10-11)

Graphique 61. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteur de la fabrication des aliments

Graphique 62. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur de la fabrication des aliments

Graphique 63. PIB par entreprise, secteur de la fabrication des aliments

Graphique 64. PIB par emploi, secteur de la fabrication des aliments

Graphique 65. Valeur de la balance commerciale du secteur de la fabrication des aliments en % du PIB du secteur de la fabrication des aliments

Graphique 66. Dépenses en R&D du secteur de la fabrication des aliments pour chaque million de PIB du secteur de la fabrication des aliments

Graphique 67. PIB du secteur de la fabrication des aliments pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur de la fabrication des aliments

Tableau 16. Stock robotique du secteur de la fabrication des aliments

Graphique 68. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur de la fabrication des aliments

Graphique 69. Stock de robots industriels opérationnels du secteur de la fabrication des aliments en % du stock total du secteur manufacturier, par pays

Graphique 70. Densité robotique du secteur de la fabrication des aliments

Étude de cas # 7. *Barilla* (Italie)

Graphique 71. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication des aliments utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes

Étude de cas # 8. *Ferme d'Hiver* (Québec)

Chapitre 4. Le secteur des produits chimiques et pharmaceutiques (ISIC 20-21)

Graphique 72. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteur des produits pharmaceutiques

Graphique 73. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur des produits pharmaceutiques

Graphique 74. PIB par entreprise, secteur des produits pharmaceutiques

Graphique 75. PIB par emploi, secteur des produits pharmaceutiques

Graphique 76. Valeur de la balance commerciale du secteur des produits pharmaceutiques en % du PIB du secteur des produits pharmaceutiques

Graphique 77. Dépenses en R&D du secteur des produits pharmaceutiques pour chaque million $ de PIB du secteur des produits pharmaceutiques

Graphique 78. PIB du secteur des produits pharmaceutiques pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur des produits pharmaceutiques

Tableau 17. Stock robotique du secteur des produits chimiques/pharmaceutiques

Graphique 79. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur pharmaceutique

Graphique 80. Stock de robots industriels opérationnels du secteur pharmaceutique en % du stock total du secteur manufacturier

Graphique 81. Densité robotique du secteur des produits chimiques/pharmaceutiques

Graphique 82. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication des produits pharmaceutiques et médicaments utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes

Graphique 83. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication des produits chimiques utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes

Étude de cas # 9. *AstraZeneca* & *Benevolent*^{AI} (Royaume-Uni)

Chapitre 5. Les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques (ISIC 24-28)

5.1. Les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques (ISIC 24-25)

Graphique 84. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteurs de la métallurgie et des produits métalliques

Graphique 85. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteurs de la métallurgie et des produits métalliques

Graphique 86. PIB par entreprise, secteurs de la métallurgie et des produits métalliques

Graphique 87. PIB par emploi, secteurs de la métallurgie et des produits métalliques

Graphique 88. Valeur de la balance commerciale du secteur de la métallurgie et des produits métalliques en % du PIB de la métallurgie et des produits métalliques

Graphique 89. Dépenses en R&D des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques pour chaque million $ de PIB des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques

Graphique 90. PIB des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques pour chaque dollar de formation brute de capital fixe des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques

Tableau 18. Stock robotique du secteur de la métallurgie et des produits métalliques

Graphique 91. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur de la métallurgie et des produits métalliques

Graphique 92. Stock de robots industriels opérationnels du secteur de la métallurgie et des produits métalliques (ISIC 24-28) en % du stock total du secteur manufacturier

Graphique 93. Densité robotique du secteur de la métallurgie et des produits métalliques

Étude de cas # 10. *Groupe ADF Inc.* (Québec)

Graphique 94. Part (%) des entreprises du secteur de la 1e transformation des métaux utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes

Graphique 95. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication de produits métalliques utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes

5.2. Le secteur de la machinerie (ISIC 28)

Graphique 96. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteur de la machinerie

Graphique 97. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur de la machinerie

Graphique 98. PIB par entreprise, secteur de la machinerie

Graphique 99. PIB par emploi, secteur de la machinerie

Graphique 100. Valeur de la balance commerciale du secteur de la machinerie en % du PIB du secteur de la machinerie

Graphique 101. Dépenses en R&D du secteur de la machinerie pour chaque million $ de PIB du secteur de la machinerie

Graphique 102. PIB du secteur de la machinerie pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur de la machinerie

Tableau 19. Stock robotique du secteur de la machinerie

Graphique 103. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur de la machinerie industrielle

Graphique 104. Stock de robots industriels opérationnels du secteur de la machinerie industrielle en % du stock total du secteur manufacturier, par pays

Graphique 105. Densité robotique du secteur de la machinerie industrielle

Graphique 106. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication de machines utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes

5.3. Les secteurs de l'électronique et du matériel électrique (ISIC 26-27)

Graphique 107. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteurs de l'équipement électronique et électrique

Graphique 108. Nombre d'emplois par entreprise, secteurs de l'équipement électronique et électrique

Graphique 109. PIB par entreprise, secteurs de l'équipement électronique et électrique

Graphique 110. PIB par emploi, secteurs de l'équipement électronique et électrique

Graphique 111. Valeur de la balance commerciale du secteur de l'équipement électronique et électrique en % du PIB du secteur de l'équipement électronique et électrique

Graphique 112. Dépenses en R&D des secteurs de l'équipement électronique et électrique pour chaque million $ de PIB des secteurs de l'équipement électronique et électrique

Graphique 113. PIB pour chaque dollar de formation brute de capital fixe, secteurs de l'équipement électronique et électrique

Tableau 20. Stock robotique du secteur de l'équipement électronique et électrique

Graphique 114. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteurs de l'équipement électrique/électronique

Graphique 115. Stock de robots industriels opérationnels des secteurs de l'équipement électrique/électronique (ISIC 26-27) en % du stock total du secteur manufacturier

Graphique 116. Densité robotique des secteurs de l'équipement électrique/électronique

Étude de cas # 11. *Tsukuba Innovation Area* (Japon)

Graphique 117. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication des produits informatiques et électroniques utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes

Graphique 118. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication de matériel, d'appareils et de composants électriques utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes

Chapitre 6. Le secteur des produits en plastique et caoutchouc (ISIC 22)

Graphique 119. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteur des produits de plastique et de caoutchouc

Graphique 120. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur des produits de plastique et de caoutchouc

Graphique 121. PIB par entreprise, secteur des produits de plastique et de caoutchouc

Graphique 122. PIB par emploi, secteur des produits de plastique et de caoutchouc

Graphique 123. Valeur de la balance commerciale du secteur des produits de plastique et de caoutchouc en % du PIB du secteur des produits de plastique et de caoutchouc

Graphique 124. Dépenses en R&D du secteur des produits de plastique et de caoutchouc pour chaque million $ de PIB du secteur des produits de plastique et de caoutchouc

Graphique 125. PIB du secteur des produits de plastique et de caoutchouc pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur des produits de plastique et de caoutchouc

Tableau 21. Stock robotique du secteur des produits de plastique/caoutchouc

Graphique 126. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, des produits en plastique et caoutchouc

Graphique 127. Stock de robots industriels opérationnels du secteur des produits en plastique et caoutchouc en % du stock total du secteur manufacturier, par pays

Graphique 128. Densité robotique du secteur des produits en plastique et caoutchouc

Graphique 129. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication de produits en plastique/caoutchouc utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes

Conclusion

Graphique 130. Dépenses de R&D par million $ de PIB, Québec comparé par secteur

Graphique 131. Productivité du capital par secteur, Québec comparé

Graphique 132. Densité robotique comparée des différents secteurs manufacturiers québécois

Graphique 133. Stock robotique opérationnel par secteur en % du stock robotique global de l'industrie manufacturière, Québec comparé

Graphique 134. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilise des technologies d'automatisation 4.0., Québec comparé par niveau technologique des secteurs

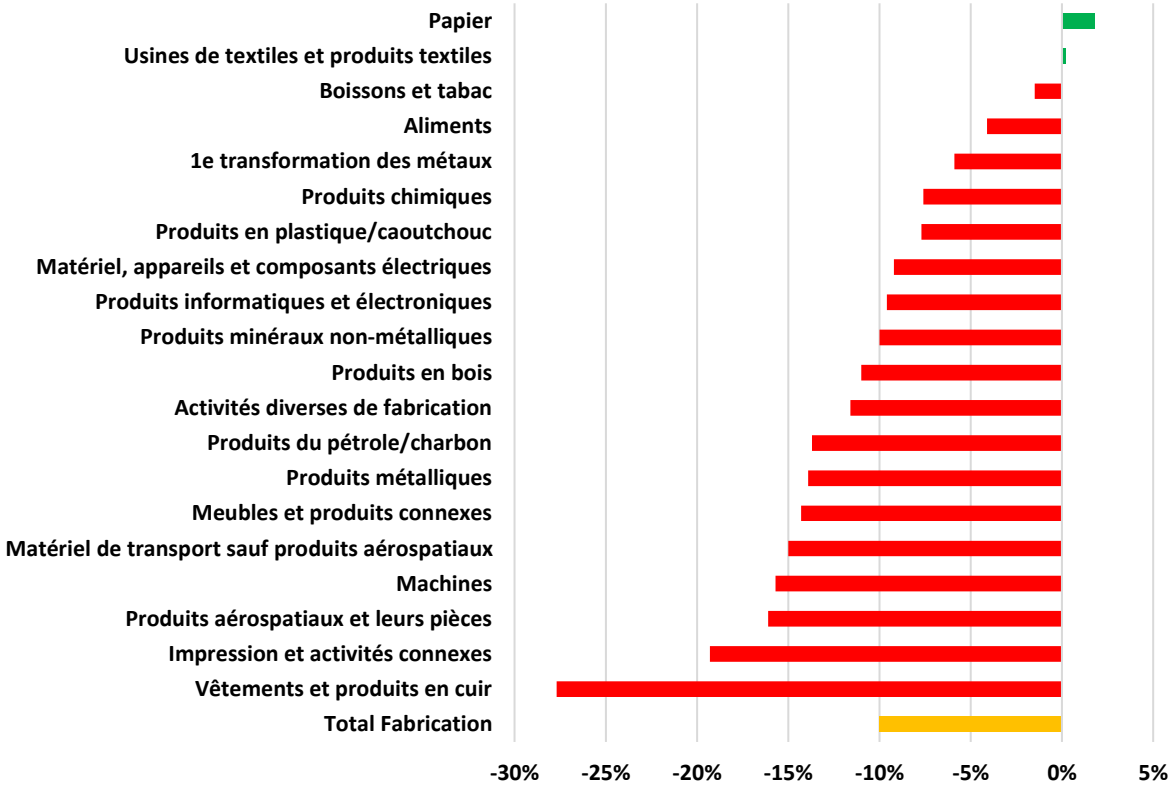
Graphique 135. Part (%) des entreprises qui utilise des technologies d'automatisation 3.0. (incluant la robotique), Québec vs. Canada par secteur manufacturier

Graphique 136. Part (%) des entreprises qui utilise des technologies d'automatisation 4.0., Québec vs. Canada par secteur manufacturier

Introduction : éléments de contexte et présentation du rapport

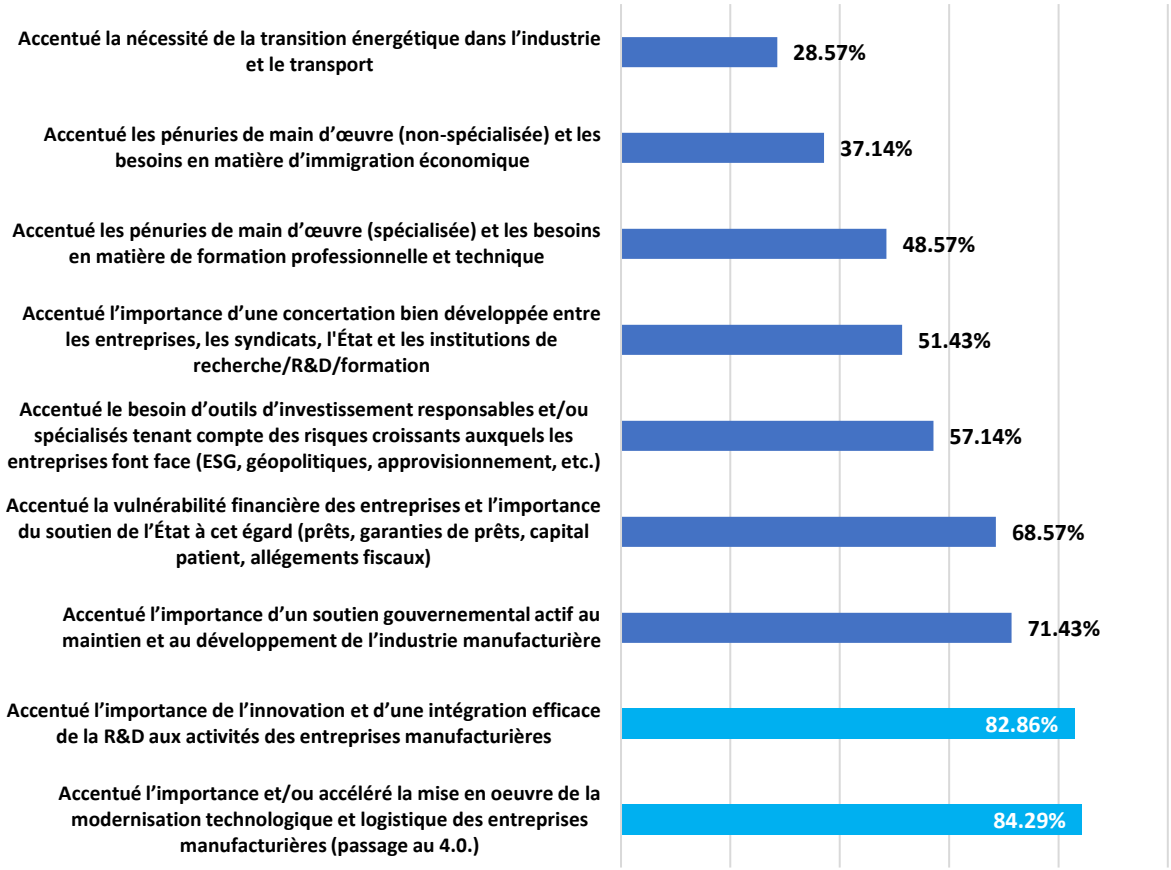
Comme partout ailleurs, l'économie québécoise et en particulier, son secteur manufacturier ont été très durement affectés par la crise sanitaire en 2020 et 2021, avec son lot de fermetures d'usines, de déstabilisation des chaînes d'approvisionnement, d'effondrement temporaire de la demande, de tarissement des bassins d'employés étrangers temporaires et ultimement, de pénuries durables de main d'œuvre. La rupture entre le rythme de croisière des activités industrielles observées jusqu'en 2019 et les mises à l'arrêt forcées de 2020 a été radicale, et ses effets sur la production importants : la production manufacturière a reculé d'environ 10% entre 2019 et 2020 (contre 5% pour le PIB québécois global), ce qui inclut le rebond de la fin-2020 et contraste fortement avec la croissance de près de 2,5% que le secteur avait connue entre 2018 et 2019. De façon concomitante, le nombre de salariés du secteur de la fabrication a reculé de 7,5%, ce qui se compare à l'effet de la pandémie sur l'ensemble de l'économie québécoise en termes d'emploi (- 7,2%). Évidemment, tous les secteurs n'ont toutefois pas été affectés de la même manière et dans la même mesure : alors que, par exemple, l'industrie québécoise du textile s'en est généralement bien sortie, notamment grâce à la hausse drastique de la demande en équipements médico-sanitaires, les différents secteurs de la fabrication ont connu un recul de leur production s'échelonnant de 1% à près de 30%, avant de connaître une reprise importante au cours de l'année 2021 et depuis.

Graphique 1. Variation du PIB des différentes industries du secteur de la fabrication du Québec, 2019 à 2020[1]



Parmi les principales leçons tirées de cette crise par l'industrie manufacturière québécoise figurent notamment l'importance stratégique de *l'approvisionnement local* et/ou d'un raccourcissement des chaînes d'approvisionnement, de la *fabrication locale* et/ou d'une relocalisation partielle des activités de production, mais aussi et en particulier, d'une *accélération de la modernisation technologique* des entreprises, soit du passage à l'industrie 3.0../4.0. afin notamment de pallier aux pénuries de main d'œuvre puis d'accroître les taux de productivité et la flexibilité des procédés de production. Dans le cadre d'un sondage mené par l'IRÉC, entre janvier et juillet 2021, auprès de 70 organisations et associations économiques liées plus ou moins directement au secteur manufacturier[2], plus de 80% d'entre-elles ont fait valoir que *la crise sanitaire a effectivement, d'abord et avant tout, accentué l'importance de la R&D, de l'innovation et surtout, de la modernisation technologique des entreprises manufacturières. Cet intérêt marqué pour la modernisation technologique au sortir de la crise sanitaire a d'ailleurs été confirmé par nombre d'études au cours des deux dernières années et évidemment, en cela le secteur manufacturier québécois ne se démarque pas nécessairement de ses pendants nord-américains, européens ou même asiatiques*. Il s'agit au contraire d'une tendance lourde et très largement partagée, à la fois d'ailleurs par les entreprises elles-mêmes et par les gouvernements qui les soutiennent[3].

Graphique 2. Selon-vous, la crise sanitaire a en général surtout, au Québec…
(Pourcentage des répondants, n=70 organismes et associations)



Une étude menée à l'échelle mondiale par McKinsey & Co. (2020) au plus fort de la pandémie a, par exemple, montré qu'en moyenne *les entreprises ont, face à la crise, devancé de plusieurs années leurs projets de numérisation et/ou de modernisation technologique des opérations*; toutes n'ont évidemment pas été en mesure de mettre en œuvre ces changements durant ou depuis 2020, mais une forte majorité a significativement raccourci l'horizon temporel des transformations initialement planifiées à moyen ou long terme. D'ailleurs, la même étude montre sans surprise que, parmi les entreprises ayant le mieux résisté à la crise figurent celles qui ont au préalable ou durant 2020 réussi à intégrer de nouvelles technologies de gestion logistique, de production et/ou de commercialisation. Les différents paliers de gouvernement n'ont, face à cette accélération historique, évidemment pas été en reste : de fait, *la quasi-totalité des États développés ont, en 2020 ou 2021, soit devancé ou intensifié le déploiement de leurs programmes d'appui à la modernisation technologique du secteur manufacturier, soit mis en place de nouvelles initiatives favorisant les transferts technologiques, la R&D, ou l'automatisation/numérisation des entreprises*[4].

Ces efforts renouvelés n'ont certainement pas permis de surmonter tous les obstacles à l'investissement et à la modernisation érigés depuis 2020 – outre les fermetures d'usines et les pénuries de main d'œuvre, pensons notamment aux carences en intrants technologiques importés – mais porteront fruit à moyen terme, en permettant d'accélérer l'adoption de technologies dont les coûts d'acquisition et la complexité d'utilisation décroissent. D'ailleurs, il serait évidemment faux de dire que la pandémie a tout changé : elle a plutôt accentué le phénomène de transition vers *l'industrie 3.0.* (cellules de fabrication flexibles, machines-outils et contrôleurs à commande numérique, lasers, plasma, ingénierie/conception/fabrication assistées par ordinateur, progiciels de prévision/planification/gestion, systèmes de capteurs, robotique industrielle, etc.) et vers *l'industrie 4.0.* (impression 3D, intelligence artificielle, Internet des objets, analyse des données massives, réalité virtuelle, technologies propres, nano/biotechnologies, chaînes de blocs, robotique collaborative, etc.) qui était déjà en marche depuis une bonne vingtaine d'années ou plus dans le cas de la première, et depuis une bonne dizaine d'années dans le cas de la seconde. *Le présent rapport s'intéresse, dans une perspective comparative, à la maturité technologique du secteur manufacturier québécois à la fois au niveau du 3.0. et du 4.0., tout en portant toutefois une importance particulière à la* ***robotique industrielle****.*

Parmi l'éventail des technologies d'automatisation qui s'offre aux manufacturiers du Québec et du monde, la robotique occupe en effet une position stratégique et particulièrement importante. Ses implications en matière d'utilisation de la main d'œuvre et de productivité sont d'abord énormes : bien que, selon certaines estimations, la robotique industrielle pourrait d'ici 2030 se substituer à pas moins de 8% de l'ensemble des emplois manufacturiers à l'échelle mondiale, soit près de 20 millions d'emplois[5], plusieurs études ont également montré, y compris à l'échelle canadienne, que ces substitutions relèvent davantage du « déplacement » d'emplois vers des postes plus qualifiés et des tâches plus spécialisées (c'est-à-dire notamment, vers des emplois « complémentaires à l'automatisation »[6]) que d'un simple « remplacement » à somme nulle. En

effet, *les transformations organisationnelles et logistiques puis en définitive, les gains de productivité associés à la robotisation permettent même fréquemment de dégager les marges bénéficiaires nécessaires à la croissance des entreprises et du même coup, à l'embauche de nouveau personnel* : selon des études récentes de Statistique Canada par exemple, les entreprises canadiennes des secteurs manufacturiers ayant adopté en plus grandes proportions la robotique industrielle et d'autres technologies 3.0./4.0. (les secteurs à « haute-intensité numérique »[i]) ont en moyenne, entre 2002 et 2019, accru leur productivité de près de 23% contre environ 6% en moyenne pour l'ensemble des autres secteurs, mais prise isolément, l'adoption de la robotique par ces mêmes entreprises a elle-même mené, en moyenne, à une augmentation de 20% de leur nombre d'employés dès la première année[7].

Tableau 1. Éléments de définition d'un robot industriel[ii]

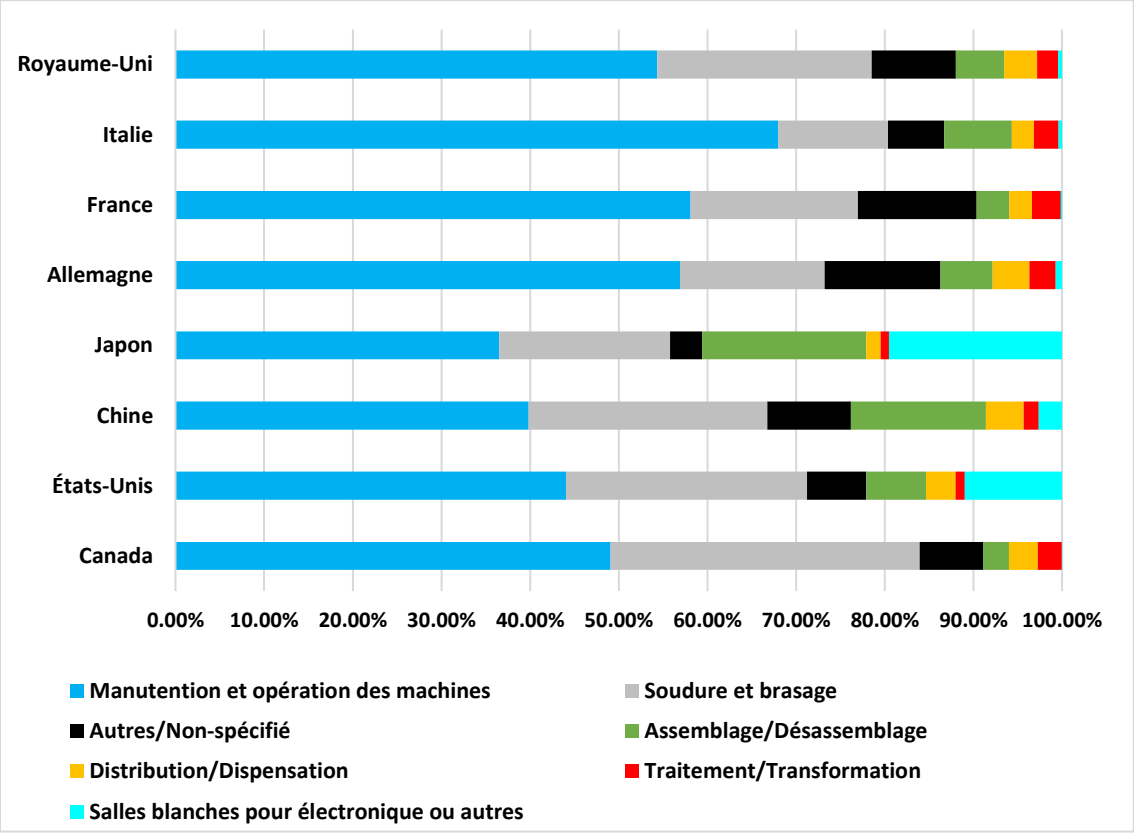
- **CONTRÔLÉ AUTOMATIQUEMENT PAR INFORMATIQUE**
- **(RE)PROGRAMMABLE SUR AU MOINS 3 AXES**
- **MULTIFONCTIONNEL**
- **FIXE OU MOBILE**
- **UTILISÉ POUR DES PROCESSUS D'AUTOMATISATION INDUSTRIELLE DE TYPE :**
    - ***MANUTENTION ET OPÉRATION DES MACHINES***
    - ***SOUDURE***
    - ***ASSEMBLAGE***
    - ***DISTRIBUTION/DISPENSATION***
    - ***TRANSFORMATION***
    - ***SALLES BLANCHES (ÉLECTRONIQUE)***
    - ***ETC.***
- **COMPREND NOTAMMENT LES ROBOTS CINÉMATIQUES DE TYPE *:***
    - ***BRAS ARTICULÉ / BRAS SCARA***
    - ***CARTÉSIEN/LINÉRAIRE/À PORTIQUE***
    - ***À STRUCTURE CYLINDRIQUE***
    - ***À STRUCTURE SPHÉRIQUE***
    - ***PARALLÈLE / DELTA***

La robotique industrielle, par ailleurs, joue un rôle clef dans la modernisation technologique des entreprises manufacturières parce qu'elle s'intègre à la fois aux systèmes automatisés 3.0. existants et aux technologies émergentes/4.0., permettant ainsi d'effectuer la transition des uns vers les autres. *En plus de travailler en synergie avec les technologies d'automatisation 3.0., la robotique industrielle de pointe incorpore effectivement aujourd'hui nombre de technologies qui en*

[i] Produits en plastique/caoutchouc, métallurgie, machinerie, produits informatiques et électroniques, matériel de transport.
[ii] Tiré de IFR Statistical Department (2021 : 30).

décuplent l'impact et les potentialités : collecte et analyse de données massives, apprentissage automatique/intelligence artificielle, Internet des objets, systèmes de vision, programmation/opération par réalité virtuelle, etc. Dans le cadre de ce rapport, nous distinguons effectivement la robotique industrielle contemporaine des « systèmes robotisés » généralement unidimensionnels qui caractérisaient, en gros jusqu'aux années 2000, l'industrie 3.0. et qui étaient typiquement utilisés pour charger et décharger les machines-outils, ou pour automatiser les processus de stockage et de récupération des pièces et du matériel. Puisqu'une bonne part des données sur l'utilisation de la robotique industrielle présentées dans ce rapport sont tirées et/ou dérivées des publications annuelles de l'*International Federation of Robotics* (IFR), nous en adoptons également la définition (Tableau 1) : un robot industriel est un outil de manipulation *multifonctionnel* autonome, fixe ou mobile, *à commande automatique* et programmable/reprogrammable sur *au moins 3 axes indépendants*, puis utilisé exclusivement dans le cadre de processus d'*automatisation industrielle* liés à la manutention et à l'opération de la machinerie, à la transformation, à l'assemblage, à la soudure et ainsi de suite[8].

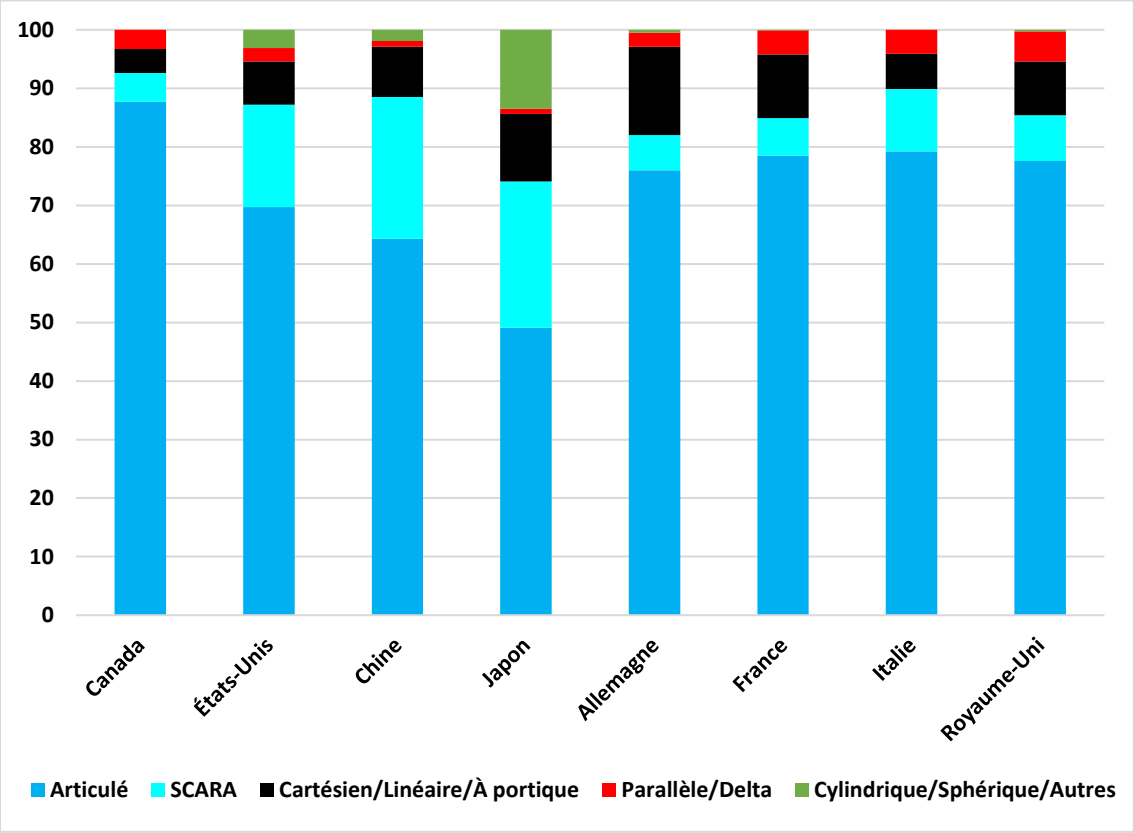
Graphique 3. Robots industriels opérationnels par fonction et par pays, en % du stock total de robots, (tous secteurs économiques), 2020[9]



En fonction des spécialisations industrielles de chaque pays et du degré de robotisation de leurs principaux secteurs manufacturiers, la répartition nationale du stock de robots en opération par « application » industrielle peut ainsi varier sensiblement. En date de 2020 par exemple, les

données de l'IFR montrent que le stock canadien de robots industriels en opération (et dans une mesure similaire, les stocks européens) était particulièrement concentré au niveau des tâches de *manutention et d'opération des machines* (coulage/moulage des métaux et du plastique, estampage, cintrage, palettisation, etc.), puis de *soudure* (à l'arc, par points, au laser, etc.). Cette concentration – en particulier en ce qui concerne les applications de soudure – est notamment typique d'une utilisation massive par l'industrie automobile, ce qui dans le cas du Canada est effectivement confirmé par plusieurs autres indicateurs dont ce rapport fait état. Dans le cas des États-Unis, du Japon et de la Chine, en revanche, et ce malgré qu'il s'agisse également de puissances de l'industrie automobile, cette concentration est moins forte et on décèle une utilisation plus fréquente de la robotique dans le cadre de processus d'assemblage/désassemblage (vissage, boulonnage, rivetage, emboutissage, recyclage, etc.), ou d'applications en salles blanches (fabrication en environnement contrôlé). Ces applications sont à leur tour caractéristiques d'une utilisation importante par les industries des produits métalliques, de la machinerie, de l'électronique, puis des produits chimiques et pharmaceutiques.

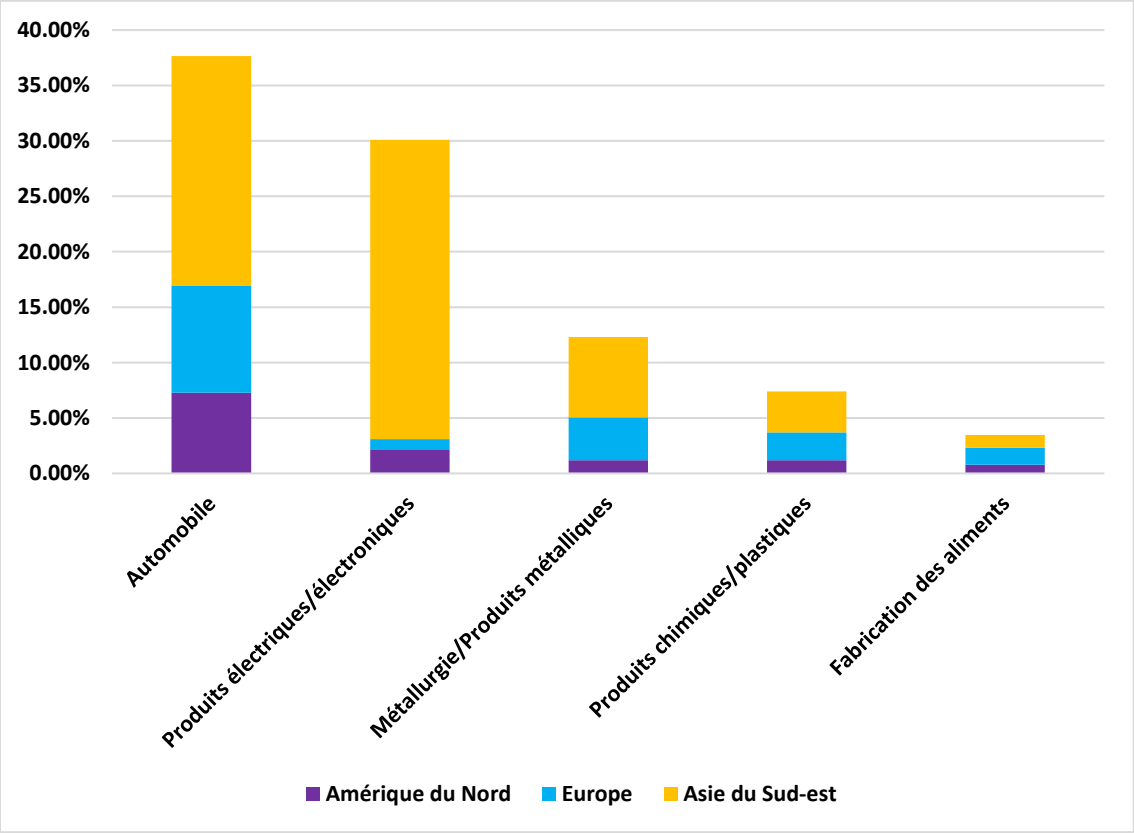
Graphique 4. Part (%) du stock total de robots industriels opérationnels, par type de robot et par pays, 2020[10]



Comme l'indiquent également les éléments de définition présentés au Tableau 1, le large éventail d'applications de la robotique industrielle a évidemment donné lieu au développement d'un grand nombre de *types* de robots distincts, que l'IFR classe en cinq grandes catégories. Sans en décrire

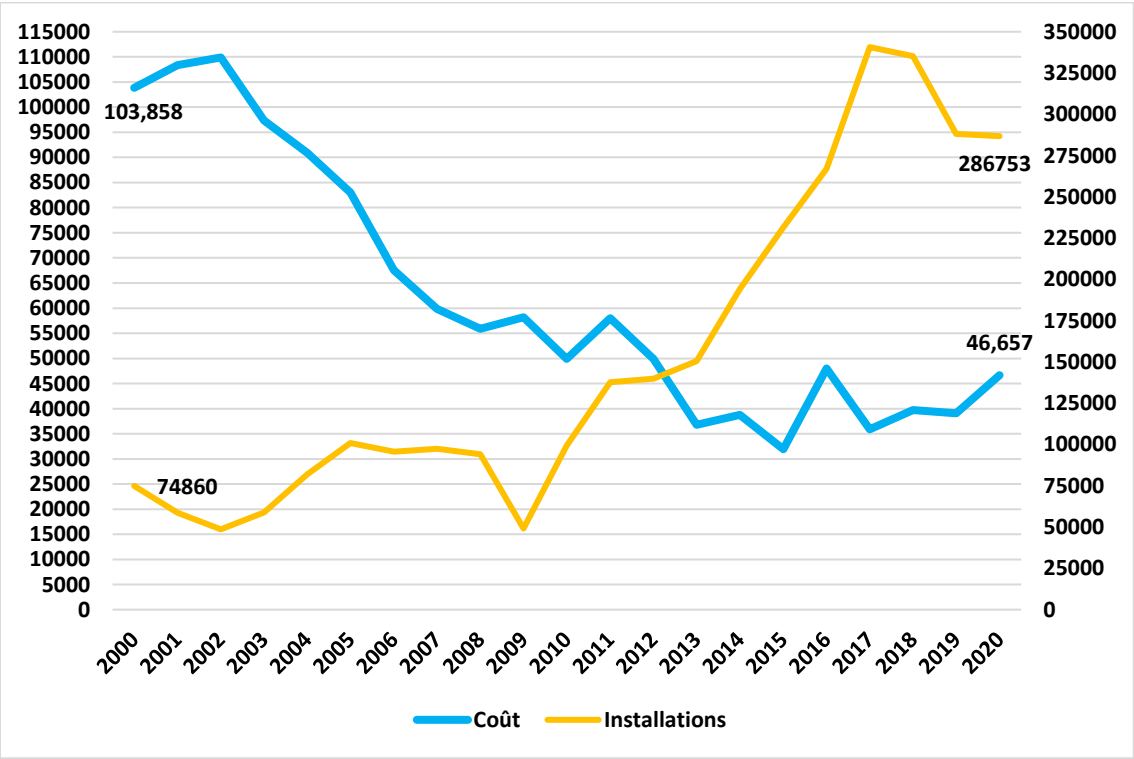
en détail les particularités[11], mentionnons au moins qu'ici encore, ces différents types sont de manière générale utilisés par différentes industries, auxquelles ils sont respectivement mieux adaptés, bien que les entreprises de chaque secteur manufacturier puissent en utiliser plusieurs variétés selon les applications visées. Les *robots « articulés » ou « bras articulés »* sont de loin les plus répandus car versatiles, mais sont typiquement concentrés dans l'industrie automobile. Les robots « SCARA » (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) forment la deuxième grande classe d'appareils la plus utilisée, et se concentrent plus ou moins fortement dans l'industrie des produits électroniques, tout comme d'ailleurs les *robots cylindriques et sphériques*, typiquement utilisées en salle blanche. Les *robots cartésiens/linéaires* forment la troisième classe la plus répandue et ne se déplacent, comme leur nom l'indique, que sur les trois axes linéaires cartésiens; ils sont fréquemment utilisés dans l'industrie de la plasturgie mais également dans les créneaux de l'usinage et des produits métalliques, pour l'opération des machines-outils. Comme on peut le voir au Graphique 4 *le Canada, dont la majeure partie du stock robotique est concentrée dans le secteur automobile (ontarien), est donc un utilisateur particulièrement important des robots articulés*, alors que chez les puissances de l'électronique que sont le Japon, la Chine et les États-Unis, les robots SCARA et dans une moindre mesure, les robots cylindriques/sphériques sont plus répandus.

Graphique 5. Part (%) du stock mondial de robots industriels opérationnels, par région et par secteur manufacturier, 2020[12]



À l'échelle mondiale – et de façon concomitante, aux échelles nationales également – les robots industriels actuellement en opération sont d'ailleurs effectivement concentrés dans un petit nombre de grands secteurs manufacturiers (Graphique 5) : les créneaux de l'automobile et de l'équipement électronique et électrique en concentraient ainsi en 2020 à peu près les deux-tiers, l'autre tiers étant principalement réparti entre les industries de la métallurgie et des produits métalliques, de la chimie/pharmaceutique, des produits de plastique et de la fabrication des aliments. *Dans certains cas, comme nous le verrons plus loin, le secteur automobile concentre même 50%, voire 60% ou plus des stocks nationaux de robots industriels en opération : c'est notamment le cas du Royaume-Uni, de l'Allemagne et du Canada (soit essentiellement de l'Ontario)*. Par ailleurs, en raison de la croissance exponentielle du stock de robots industriels de la Chine au cours des quinze à vingt dernières années, mais également en raison de la très forte robotisation des secteurs manufacturiers japonais, coréen et singapourien, leaders mondiaux incontestés en la matière, *le continent asiatique concentre également la part dominante des robots en opération à l'heure actuelle* (en particulier dans le secteur de l'électronique), alors que l'Europe et l'Amérique du Nord, même combinés, ne représentent généralement pas même 50% du stock opérationnel dans les principaux secteurs robotisés.

Graphique 6. Coût d'acquisition moyen d'un robot industriel ($ CAN courants *excluant* les frais d'installation, de programmation et autres frais connexes) et nombre d'installations annuelles (unités) dans le secteur manufacturier à l'échelle mondiale[13]



Tant en Asie qu'en Europe et en Amérique du Nord, néanmoins, et quoique à des échelles et à des rythmes différents, *la robotisation de l'industrie manufacturière s'est accélérée considérablement*

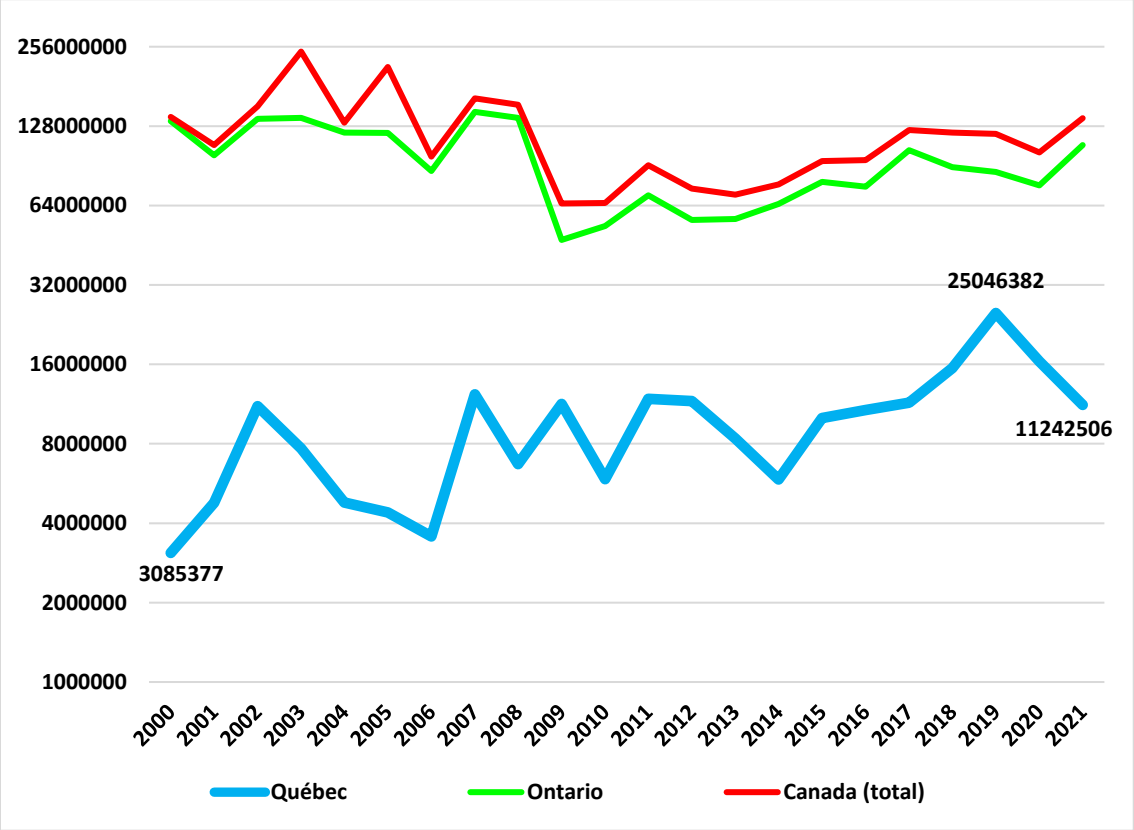
depuis le début des années 2000 et en particulier, dans les années 2010 à mesure que se sont développées de nouvelles fonctionnalités (notamment via l'intégration de différentes technologies 4.0. à la robotique) et de nouvelles applications (pensons par exemple à la robotique « collaborative »[14], qui permet des interactions plus complexes entre humains et robots pour la fabrication de produits hétérogènes et personnalisés, ou pour le contrôle de la qualité). Ces nouvelles fonctionnalités et applications de la robotique ont effectivement amené un plus large éventail de secteurs manufacturiers et d'entreprises à la robotisation, y compris de plus en plus de PME dont la production à faibles volumes et souvent sur mesure s'y prêtait, jusqu'à récemment, plus difficilement. Mais surtout, le « boom » de la robotisation manufacturière des quinze dernières années s'explique par la *simplification des interfaces et de la programmation*, grâce au développement de logiciels mieux adaptés aux besoins des entreprises et, en particulier, par la *forte décroissance des coûts à l'acquisition* de robots industriels (Graphique 6) : entre le début des années 2000 et le milieu des années 2010, selon nos estimations, ce coût moyen est passé de plus de 100 000 $ canadiens à un peu plus de 30 000 $, avant de remonter tout juste au-dessus des 45 000 $ (en partie sous le coup de la dépréciation du dollar canadien et en 2020, de la pandémie).

Toutes ces évolutions, à la fois au niveau des technologies robotiques elles-mêmes et au niveau du coût d'acquisition de ces systèmes, ont ainsi mené à une véritable explosion des nouvelles installations de robots par l'industrie manufacturière à l'échelle mondiale (Graphique 6) : entre l'an 2000 et 2020, ces installations annuelles sont passées d'un total tout juste inférieur à 75 000 unités jusqu'à un total de plus de 285 000, avec un sommet à plus de 340 000 en 2017. La recrudescence des tensions géopolitiques et commerciales entre les États-Unis et la Chine depuis lors, l'avènement de la crise sanitaire, la guerre russo-ukrainienne, les taux d'inflation historiques atteints depuis la fin-2021 et possiblement, la récession mondiale que l'on connaîtra en 2022-2023 ont eu et auront probablement pour effet de ralentir considérablement cette progression, mais la vague de fond de la robotisation est inéluctable : pour atteindre les 500 000 nouvelles installations annuelles, que l'IFR attendait initialement à l'horizon 2024, il faudra probablement attendre quelques années de plus mais à moins d'une catastrophe, cette croissance se perpétuera bien au-delà des années 2020. *Les données de l'IFR à cet égard sont par ailleurs particulièrement intéressantes et utiles en ce qu'elles sont également ventilées par pays et par secteurs* : ainsi, il est possible, comme nous le faisons dans le présent rapport, d'évaluer et de comparer la croissance et les niveaux de robotisation de différentes économies et en leur sein, de différentes industries.

Tel que les graphiques 9 et 10 l'illustrent bien un peu plus bas, *les superpuissances industrielles que sont la Chine, le Japon, les États-Unis et l'Allemagne sont sans surprise celles dont les installations robotiques annuelles sont les plus importantes et celles qui concentrent, en nombres absolus, les plus grands stocks de robots industriels de la planète*. Suivent ensuite, de plus ou moins loin, les autres économies européennes majeures (France, Italie, Royaume-Uni) ainsi que le Canada, dont évidemment les bassins de population et la taille des secteurs industriels sont aussi largement inférieurs. *Dans le cas précis du Canada, et aux fins de ce rapport, les données de l'IFR comportent toutefois deux problèmes majeurs* : d'abord, elles ne sont disponibles qu'à l'échelle

nationale et ne départagent donc pas les installations ou le stock robotiques par province; mais surtout, il s'avère que jusqu'en 2011, ces données n'étaient compilées qu'à l'échelle nord-américaine et ventilées seulement pour les États-Unis. Conséquemment, les données sur le nombre d'installations robotiques annuelles au Canada ne sont pas disponibles avant 2011 puis, problème plus important encore, le stock cumulatif de robots en opération compilé pour le Canada de 2011 à 2020 ne prend en compte que partiellement et de manière imprécise les installations pré-2011 et surtout, le cycle de vie des robots préalablement installés, qui s'échelonne sur douze ans selon les définitions adoptées par l'IFR elle-même.

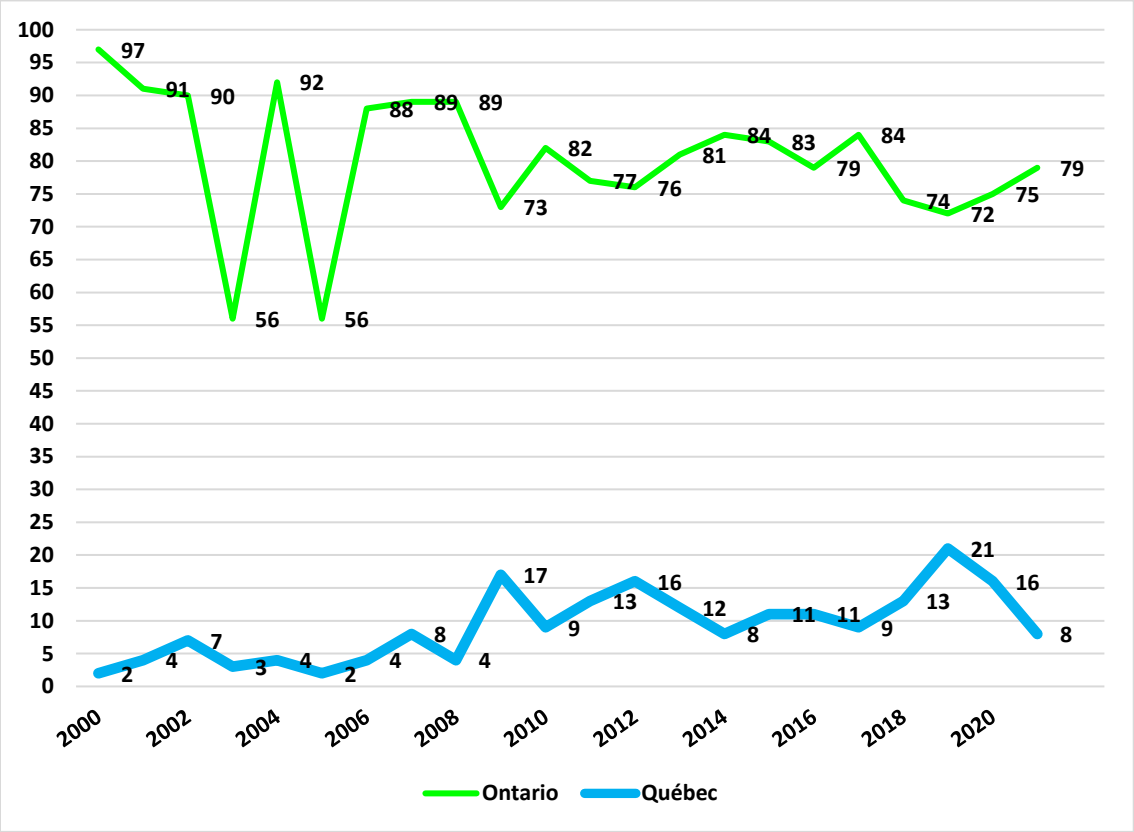
Graphique 7. Importations totales de robots industriels (code tarifaire SH 847950) par province ($ dollars canadiens courants, échelle logarithmique)[15]



Heureusement, nous avons pu surmonter en bonne partie ces deux problèmes, principalement grâce aux données d'*Innovation, Sciences et Développement économique Canada* sur les importations annuelles de robots industriels, disponibles depuis l'an 2000 et ventilées par province. Puisque, le Canada n'étant pas un producteur important de systèmes robotiques, la quasi-totalité des robots industriels qui y sont installés sont importés[16], le croisement de ces données avec le coût moyen à l'acquisition présenté au Graphique 6 nous permet d'estimer de manière beaucoup plus précise le stock cumulatif de robots opérationnels attribuable au Canada en date de 2011 et pour les années subséquentes, puis surtout de faire de même pour l'Ontario et le Québec. Ne serait-ce que sur la base de ces données commerciales, d'ailleurs, plusieurs éléments et tendances apparaissent

clairement : d'abord, il est évident que *les installations annuelles comme le stock robotique opérationnel du Canada demeurent très fortement concentrés en Ontario, ce qui reflète évidemment l'importance clef de l'industrie automobile dans cette province*; ensuite, on peut également noter que de manière générale, *depuis le tournant du millénaire, la robotisation semble avoir peu progressé aux échelles canadienne et ontarienne* (même si la stagnation de la valeur des importations découle évidemment en partie de la forte décroissance des coûts d'acquisition évoquée plus tôt); enfin, en revanche, on voit bien que *le Québec a effectué au cours des vingt dernières années un « grand rattrapage », s'étant robotisé beaucoup plus rapidement que l'Ontario ou le Canada dans son ensemble*.

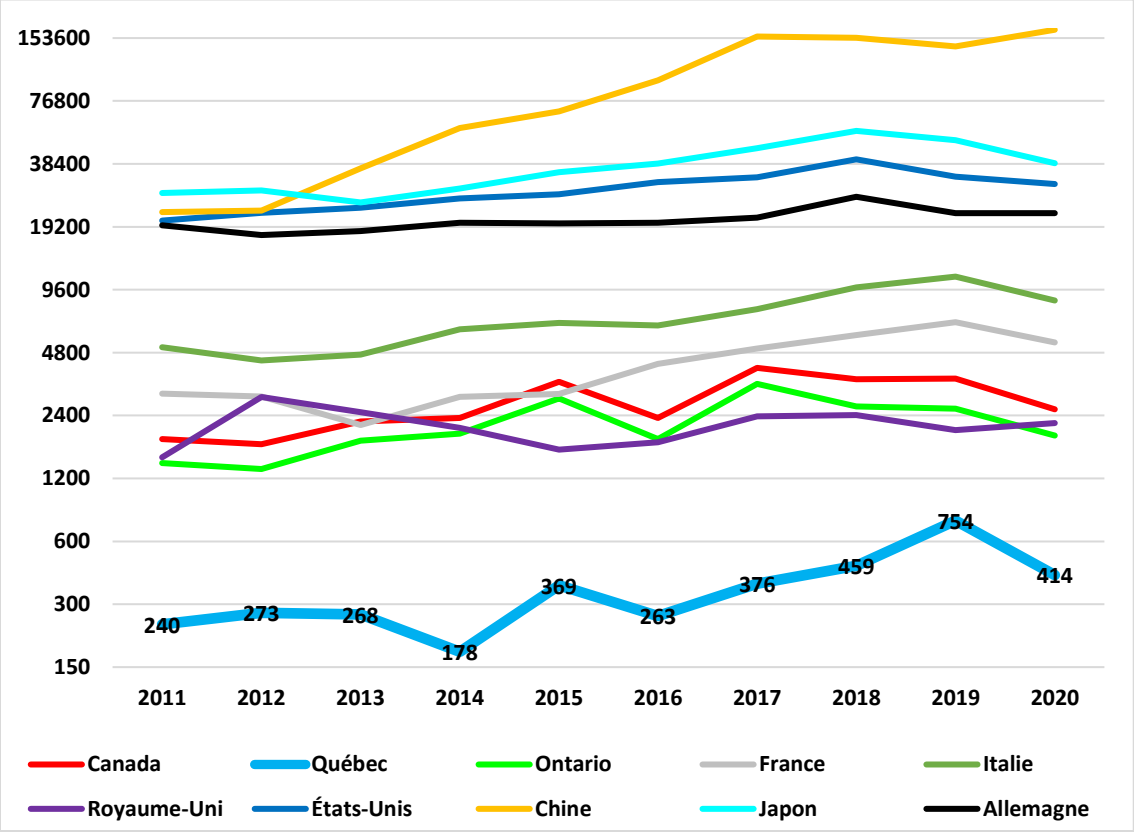
Graphique 8. Part respective de l'Ontario et du Québec en % des importations totales canadiennes de robots industriels (SH 847950)[17]



En effet, ces données montrent que les importations de robots industriels ont même, entre 2000 et 2021 et en dollars courants, légèrement décliné au Canada (138 à 137 millions $) et en Ontario (134 à 108 millions $), en particulier dans la foulée de la crise financière de 2008 (qui a durement frappé le secteur automobile ontarien) et malgré un fort regain depuis. Au Québec à l'inverse, on observe une croissance de plus de 260% des importations de robots entre 2000 (3 millions $) et 2021 (11,3 millions $), de même qu'une très forte poussée entre 2014 et 2019, avant que la pandémie ne vienne perturber le cours des choses. Ainsi, *entre 2000 et les années ayant suivi la crise financière, la part du Québec dans les importations canadiennes de robots industriels est*

passée d'à peine 2% à une moyenne annuelle de près de 13%, ayant même atteint un sommet à 21% en 2019 (Graphique 8). Les tendances sont donc assez aisément déchiffrables : la robotisation manufacturière canadienne a été, en comparaison de la québécoise, passablement précoce mais quasi-exclusivement limitée à l'Ontario et en particulier, à son secteur automobile et a significativement ralenti (tout en continuant de croître) au cours des années 2000; à l'inverse, le Québec avait donc clairement accumulé un retard important, en matière de robotisation, sur l'Ontario (et ainsi sur le Canada) au cours des années 1990 et jusqu'au milieu des années 2000, puis a entamé en gros depuis la crise financière un important rattrapage, interrompu semble-t-il par la pandémie mais dont il sera intéressant de réévaluer la progression au cours des prochaines années.

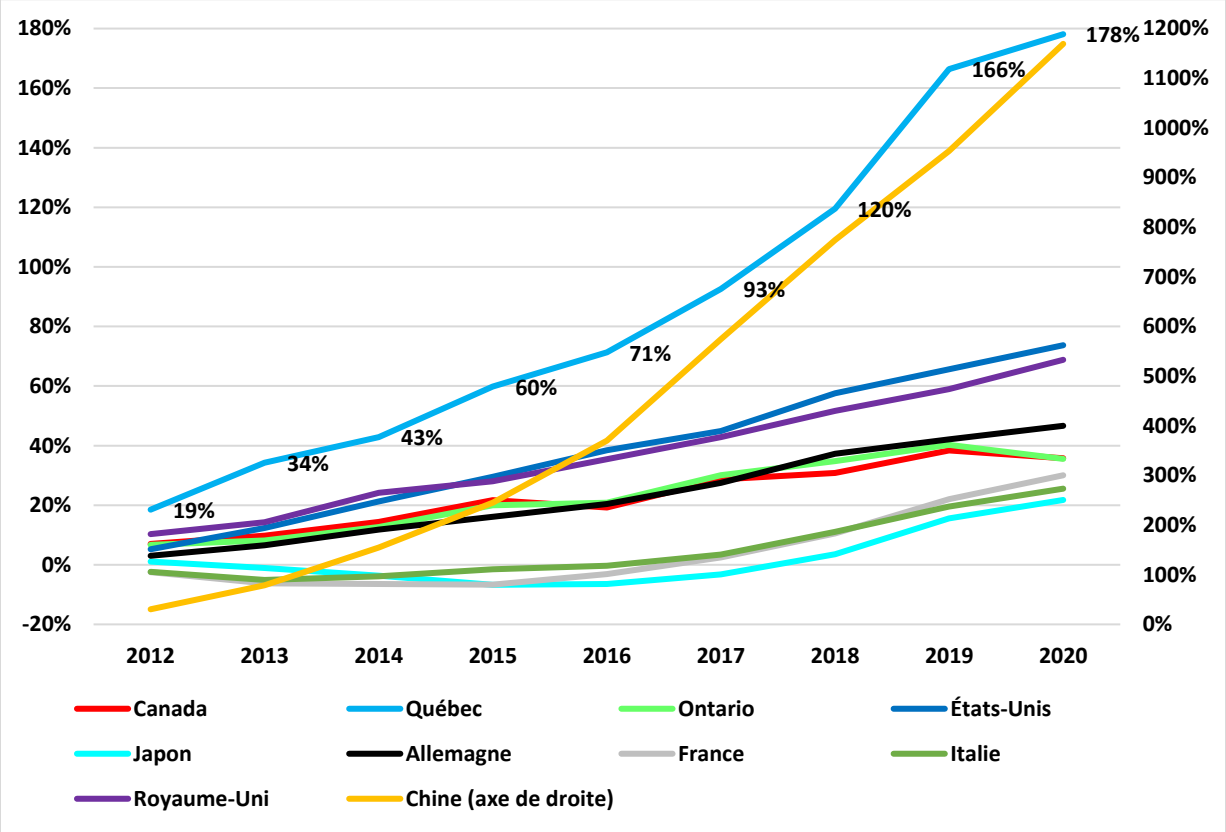
Graphique 9. Installations annuelles de robots industriels par pays, tous secteurs économiques (échelle logarithmique)[18]



En croisant les données sur les importations avec celles de l'IFR et en les transposant en unités installées et opérationnelles (graphiques 9 et 10), nous avons donc été en mesure d'établir des bases de comparaison approximatives entre le Canada, l'Ontario, le Québec et sept autres économies avancées : les États-Unis, le Royaume-Uni, la France, l'Allemagne, l'Italie, le Japon et la Chine. À leur tour, ces comparatifs confirment le « grand rattrapage » robotique du Québec, qui demeure toutefois relatif et surtout marqué en comparaison de l'Ontario et du Canada, alors que d'autres pays ont connu une croissance importante de leurs installations robotiques au cours des années 2010, dont notamment la Chine, la France et l'Italie. Selon nos estimations, les installations

annuelles de robots industriels au Québec, tous secteurs économiques confondus, sont passées d'un total de 240 unités en 2011 à plus de 750 en 2019, avant de redescendre à un peu plus de 400 en 2020 (Graphique 9). *La poussée de la seconde moitié des années 2010 a donc été particulièrement forte au Québec et de 2011 à 2019, avant que la pandémie ne frappe, la croissance globale du nombre d'installations annuelles y a été de plus de 200% contre 120% en France, 118% en Italie, 95% au Canada, 82% en Ontario, près de 80% au Japon, 62% aux États-Unis, 35% au Royaume-Uni et 15% en Allemagne, mais de pas moins de 520% en Chine.*

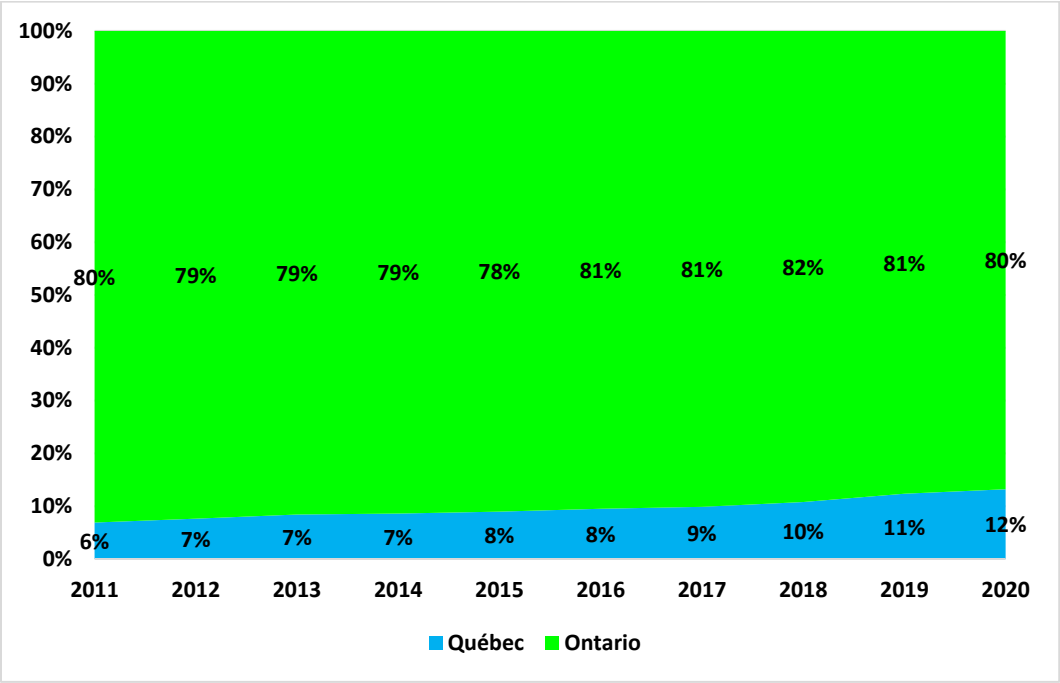
Graphique 10. Croissance cumulative du stock de robots industriels opérationnels par pays, tous secteurs (année de référence = 2011)[19]



Grâce à cette croissance importante des installations annuelles, le Québec a donc réussi à bonifier significativement son stock de robots industriels opérationnels au cours de cette même période (Graphique 10) : *entre 2011 et 2020, nous estimons à 178% la croissance cumulative du nombre de robots industriels en opération dans tous les secteurs économiques québécois*, un taux surpassé seulement (mais de loin) par la Chine, qui a pour sa part accru son stock robotique de près de 1200%. En comparaison, l'Ontario et le Canada dans son ensemble ont accru leur stock de robots opérationnels d'un peu plus de 35%, en milieu de peloton parmi les économies avancées. Les États-Unis, à 74% d'augmentation, le Royaume-Uni à 69% et l'Allemagne à 47% ont devancé le Canada et l'Ontario, mais la France, l'Italie et le Japon (notamment en raison de la fin de vie utile d'une part importante de leur stocks vieillissants) ont vu leur bassin de robots industriels s'élargir moins

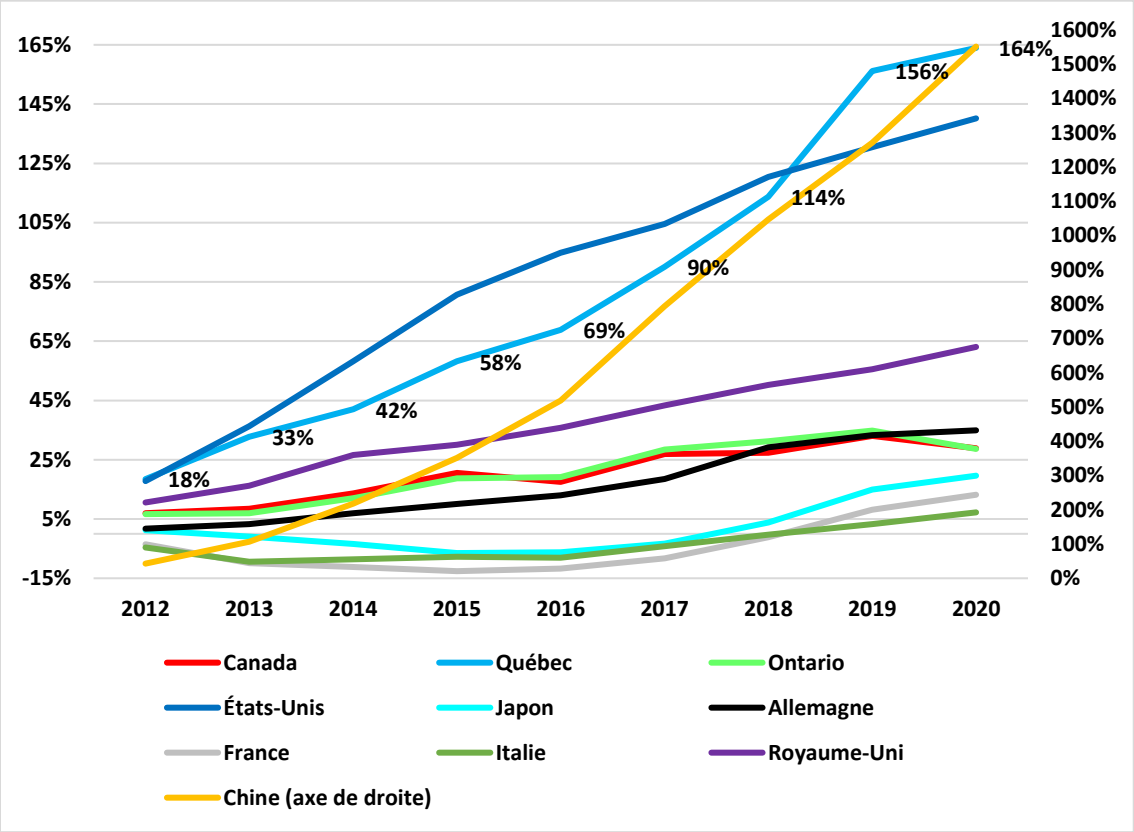
rapidement, à des taux cumulatifs de 30%, 26% et 22% respectivement entre 2011 et 2020. *Cette croissance comparativement rapide des importations, des installations et ultimement donc, du stock de robots industriels en opération au Québec a ainsi permis à la province de doubler, entre 2011 et 2020, sa part relative du stock canadien total pour tous les secteurs économiques (Graphique 11), passée de 6% (1475 robots sur 24 965) à 12% (4102 robots sur 33 902).*

Graphique 11. Part (%) de l'Ontario et du Québec dans le stock total de robots industriels opérationnels du Canada (tous secteurs économiques) [20]



En reproduisant pour le Canada, le Québec et l'Ontario les ventilations sectorielles compilées par l'IFR pour les installations et le stock robotiques, il a également été possible de déterminer la part de l'industrie manufacturière et de ses sous-secteurs pour chacun de ces indicateurs. Nous présentons l'essentiel de ces données au premier chapitre ainsi que dans les chapitres sectoriels subséquents, mais il est déjà intéressant de noter que, le secteur manufacturier (et dans bien des cas à l'exception du Québec, le secteur automobile) concentrant évidemment l'essentiel du stock robotique du Canada comme du Québec et des autres juridictions recensées, les mêmes tendances ou à peu près que pour l'ensemble des secteurs économiques peuvent y être décelées. Ainsi, on voit clairement que *le secteur manufacturier québécois a effectué, au cours des années 2010, un grand rattrapage en matière de robotisation : de 2011 à 2020, le stock de robots opérationnels de l'industrie manufacturière au Québec a explosé de plus de 160% (de moins de 1400 à près de 3700 robots), alors que cette croissance n'a été que d'environ 30% en Ontario (18 800 à 24 200 robots) et au Canada pris dans son ensemble (23 600 à 30 400 robots).* Sur la même période, seuls les États-Unis (à + 140%) et la Chine (+ 1552%) ont accru leur stock robotique manufacturier aussi rapidement ou plus rapidement que le Québec, alors que le Royaume-Uni (63%) et l'Allemagne (35%) ont pour leur par mieux fait que l'Ontario ou le Canada (Graphique 12).

Graphique 12. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur manufacturier (année de référence = 2011)[21]



Évidemment, *à environ 12% du stock robotique manufacturier du Canada en date de 2020, l'industrie québécoise accuse toujours un certain retard par rapport à son poids économique relatif à l'échelle nationale*. Toutefois, de deux choses l'une : d'abord, comme le second chapitre du présent rapport le montre bien, le stock robotique du manufacturier canadien est « artificiellement » gonflé par la très forte robotisation du secteur automobile ontarien et par conséquent, puisque le Québec n'a plus pour sa part d'industrie automobile intégrée à proprement parler, son retard relatif en matière de robotisation globale est pourrait-on dire et pour une part, « normal »; mais deuxièmement et surtout, comme les données tout juste présentées en attestent, *le « grand rattrapage » du Québec manufacturier en matière de robotique est en cours et ce, non seulement face au reste du Canada mais également à l'échelle internationale*. Voilà le genre de constat nuancé que ce rapport permet de poser, dans une perspective comparative, sur le secteur manufacturier québécois. D'ailleurs, même si l'accent principal y est mis sur l'enjeu de la robotisation, il est à noter que cette étude comprend également deux autres grands volets.

Dans un premier temps, nous comparons le Québec aux autres juridictions susmentionnées, c'est-à-dire aux principales économies avancées de l'OCDE en plus de la Chine, sur la base de près d'une douzaine d'indicateurs économiques différents et ce tant pour l'industrie manufacturière dans son ensemble que pour près d'une dizaine de sous-secteurs. Dans le second et principal volet

du rapport, nous comparons ensuite la « maturité technologique » du manufacturier québécois et de ses principaux sous-secteurs aux mêmes autres juridictions, et ce non seulement sur le plan de la robotisation mais également quant à l'adoption de bon nombre d'autres technologies 3.0. et 4.0. La tableau suivant présente, de façon schématique, la structure du rapport :

Tableau 2. Structure du rapport

Juridictions comparées	Indicateurs	Secteurs
Québec **Ontario** **Canada** **États-Unis** **Royaume-Uni** **Allemagne** **France** **Italie** **Japon** **Chine**	**Caractéristiques économiques** *Secteur manufacturier en % du PIB global* *Exportations manufacturières de haute technologie* *Nombre d'entreprises par million d'habitants* *Nombre d'emplois moyen par entreprise (taille des entreprises)* *PIB par entreprise (production)* *PIB par emploi (productivité)* *Exportations, importations et solde commercial en % du PIB* *$ en R&D par million $ de PIB* *Productivité du capital* **Maturité technologique** *Installations et stock robotique (mesures absolues et relatives)* *Densité robotique (robots/10,000 employés)* *Usage (% des entreprises) des :* *- technologies 3.0.* *- technologies propres* *- infonuagique / Internet des objets* *- big data / intelligence artificielle* *- impression 3D* *- réalité virtuelle/mixte/augmentée* *- nano/biotechnologies* *- géomatique/géospatiale* *- chaînes de blocs*	Manufacturier : *ISIC 10-33* Automobile : *ISIC 29* Aéronautique/ferroviaire/naval/autres : *ISIC 30* Fabrication des aliments : *ISIC 10-11* Produits chimiques et pharmaceutiques : *ISIC 20-21* Métallurgie et produits métalliques : *ISIC 24-25* Machinerie : *ISIC 28* Produits électroniques et matériel électrique : *ISIC 26-27* Produits en plastique/caoutchouc : *ISIC 22*

Bien qu'un certain nombre d'études et de rapports aient, au cours des dernières années, abordé à peu près pour chacune de ces juridictions l'enjeu de l'utilisation, plus ou moins développée, des technologies robotiques et 4.0., nous avons pour notre part, par souci de comparabilité et d'exactitude, eu recours principalement aux données brutes et primaires rendues disponibles par l'IFR et par différentes agences statistiques. En ce qui concerne les caractéristiques économiques des différents secteurs manufacturiers comparées[iii], les données sont ainsi présentées, pour chacune des juridictions, essentiellement sous forme de mesures relatives et/ou à parité de pouvoir d'achat, en dollars américains. Nos principales sources pour ces sections du rapport ont été : l'OCDE, l'agence de la Commission européenne *Eurostat*, la Banque mondiale, le *China Statistical Yearbook*, Statistique Canada, puis l'Institut de la statistique du Québec (ISQ). En ce qui concerne les indicateurs de maturité technologique, nous avons principalement eu recours : à la banque de données ainsi qu'au rapport annuel 2021 de l'IFR; à Statistique Canada et notamment aux données sur l'utilisation des « technologies de pointe ou émergentes » pour 2019 de *l'Enquête sur l'innovation et les stratégies d'entreprises*; à l'ISQ et notamment aux données pour 2020 de l'*Enquête sur l'intégration d'Internet au processus d'affaires*; aux données d'*Eurostat* et de l'OCDE sur l'utilisation des technologies numériques et d'automatisation; puis aux statistiques de l'*Annual Business Survey* et de l'*Annual Survey of Manufactures* publiées par le *United States Census Bureau*.

En plus des chapitres sectoriels puis de ces comparaisons économiques et technologiques pour chacune des dix juridictions recensées, le présent rapport propose enfin onze études de cas, dont quatre sur des entreprises québécoises et une autre pour chaque pays de comparaison. Ces études de cas sont tour à tour soit particulièrement représentatives de l'importance de certains secteurs manufacturiers nationaux – comme l'aérospatiale et les produits métalliques dans le cas du Québec (*Industries Leesta*; *Groupe ADF Inc.*), de la France (*Safran Aircraft Engines*) et de l'Allemagne (*Airbus Commercial Aircraft*), l'agroalimentaire dans le cas de l'Italie (*Barilla*), l'industrie chimique dans le cas des États-Unis (*3M*), ou l'industrie automobile dans le cas de la Chine (*Chang'an Automobile*) – et/ou particulièrement représentatives du développement et des applications potentielles des technologies robotiques et 4.0. par des entreprises manufacturières innovantes des différentes juridictions – pensons ici à l'intelligence artificielle appliquée à la robotique (*Omnirobotic* – Québec) ou au pharmaceutique (*AstraZeneca* & *Benevolent*^{AI} – Royaume-Uni), au développement de nouveaux polymères pour l'impression 3D (*3M* – États-Unis), aux nouvelles technologies d'éclairage et de gestion des données pour les cultures verticales et en serre (*Ferme d'Hiver* – Québec), puis à la R&D et aux transferts technologiques dans le domaine des nanotechnologies (*Tsukuba Innovation Area* – Japon).

L'objectif principal de ce rapport est d'offrir au sujet du secteur manufacturier et de son passage vers le 4.0. des perspectives nouvelles, *comparées et complémentaires* aux indicateurs et aux études disponibles, qui demeurent dans la plupart des cas concentrées sur le Québec et/ou sur le Canada

[iii] Classés selon la nomenclature de l'*International Standard Industrial Classification of All Economic Activities* (ISIC), Revision 4.

dans son ensemble et ne permettent donc pas, du moins dans la mesure offerte ici, de bien situer l'industrie québécoise et ses différents sous-secteurs par rapport à ses principaux concurrents et partenaires commerciaux. Les données et les estimations présentées dans ce rapport ne sont pas, à tout coup, parfaitement précises ou fiables, mais elles seront fort utiles aux analystes ainsi qu'aux intervenants et aux décideurs économiques et politiques en ce qu'elles constituent, à notre connaissance, le plus important effort de synthèse et de comparaison sur ces sujets effectué à ce jour en ce qui concerne le Québec. **Les constats que cet effort permet de faire sont également nuancés, éclairants et dans certains cas, encourageants; s'il fallait les résumer en quelques points clefs, on pourrait dire du secteur manufacturier québécois :**

- **qu'il demeure relativement modeste par le nombre et la taille de ses entreprises;**

- **que sa productivité du travail demeure relativement faible mais s'avère compensée en partie par une bonne productivité du capital;**

- **que ses dépenses de R&D demeurent élevées à l'échelle canadienne mais faibles à l'échelle internationale;**

- **que son déficit commercial global est négatif mais sous contrôle et proportionnellement inférieur à celui du Canada ou des États-Unis;**

- **qu'il a accumulé un certain retard en matière de robotisation mais qu'il effectue depuis près d'une quinzaine d'années un important rattrapage;**

- **que ce retard en matière de densité robotique ne s'applique pas à tous les sous-secteurs et qu'il est déjà totalement comblé face au Canada en excluant le secteur automobile de l'analyse;**

- **puis qu'il apparaît de manière générale en milieu de peloton à l'échelle mondiale, voire légèrement en avance sur l'Ontario ou le Canada en matière d'adoption des technologies 4.0., à l'exception notable (et quelque peu étonnante) des technologies propres.**

Chapitre 1. Le secteur manufacturier : perspectives générales

Faits saillants

- *Le PIB manufacturier du Québec est légèrement inférieur à 15 % du PIB national, mais cette part demeure supérieure à celle des secteurs manufacturiers ontarien et canadien. À l'échelle internationale, le Québec se retrouve donc en milieu de peloton quant au poids économique de son secteur manufacturier.*

- *À un peu plus de 100 000 $US par emploi le Québec tire une productivité comparativement faible de ses travailleurs dans le secteur manufacturier, malgré une croissance notable au cours des années 2010. Le Québec s'est comparé un certain temps à l'Italie mais le niveau de productivité du travail de cette dernière, pour le secteur manufacturier dans son ensemble, a dépassé celui du Québec au tournant de l'année 2016. Le Québec demeure également, pour cette mesure, derrière l'Ontario (109 000 $US par emploi) et le Canada (118 000 $US).*

- *En matière de dépenses en R&D manufacturière, le Québec se compare encore avantageusement à l'Ontario et au Canada et se situe à peu près au niveau atteint par l'Italie, à environ 38 000 $US pour chaque million $US de PIB. Toutes proportions gardées, le Québec manufacturier est toutefois loin d'être un champion de la R&D manufacturière : il se retrouve toujours derrière le Royaume-Uni (46 000$US/million $US de PIB), la Chine (50 000 $US) et la France (60 000 $US) puis surtout, très en deçà des niveaux atteints par l'Allemagne (90 000 $US), le Japon (107 000$ US) ou les États-Unis (117 000$ US).*

- *La productivité du capital du secteur manufacturier québécois se compare à celle du Royaume-Uni à un peu moins de 7 $US de PIB par dollar de formation brute de capital fixe en date de 2019. Cette productivité du capital pour le Québec demeure également assez largement supérieure aux niveaux atteints par l'Allemagne (5,6 $US), l'Italie (5,2 $US), les États-Unis (4,7 $US), la France (4,7 $US) et le Japon (3,4 $US). Cela s'explique notamment par les faibles taux d'investissement en capital fixe du secteur manufacturier québécois, supérieurs à ceux de l'Ontario et du reste du Canada mais souvent assez largement inférieurs à ceux des autres pays recensés.*

- *En ce qui concerne l'utilisation de la robotique industrielle en particulier, le Québec accuse toujours sur l'Ontario et sur la majorité des pays industriels avancés un retard relativement important; toutefois, un rattrapage est visiblement en cours depuis le milieu des années 2010 et, en excluant de l'équation le secteur automobile, on constate que ce retard du Québec se révèle moins marqué que généralement présenté.*

- *On remarque un certain retard généralisé du manufacturier québécois en matière d'adoption des technologies d'automatisation/numérisation et des technologies propres, mais une légère avance eu égard à l'intégration des technologies émergentes. Ainsi, ayant accumulé un certain retard quant à la transition vers le 3.0., les manufacturiers québécois semblent adopter en revanche plus précocement les technologies émergentes, dans des proportions souvent légèrement plus élevées qu'en Ontario ou au Canada*.

- *Le rythme de croissance des acquisitions/installations de robots par le secteur québécois de la fabrication a carrément été, entre 2014 et 2019, le plus rapide parmi les pays étudiés, supérieur même à celui de la Chine. Entre le creux de 2014 et le sommet de 2019, le nombre de robots installés annuellement par le manufacturier québécois s'est accru de 275% (169 à 633). D'un plancher de 7,5% en 2014, le Québec manufacturier a ainsi atteint 20% des installations totales de robots du secteur canadien de la fabrication en 2019, rejoignant ainsi le poids économique du Québec au sein du Canada.*

- *Le Québec manufacturier : a) a accumulé un retard important en matière de robotisation jusqu'au milieu des années 2000; b) est en voie de rattraper ce retard grâce à une robotisation accélérée depuis le milieu des années 2010; c) atteint aujourd'hui une densité robotique égale ou supérieure à celle du Canada sans l'automobile, ou à celle des de bon nombre d'économies avancées qui, comme le Québec, ne comprennent pas d'industrie automobile majeure.*

- *Entre 15% (secteurs de faible/moyenne-faible technologie) et 17% (secteurs de moyenne-haute/haute technologie) des entreprises manufacturières québécoises utilisaient la robotique en date de 2020, contre de 5% à 18% des manufacturiers américains selon les États (2018) et 18% des manufacturiers de la Zone Euro en moyenne (2020). La France, les Pays-Bas et les pays européens nordiques sont toutefois largement en avance sur le manufacturier québécois.*

- *Le manufacturier québécois semble accuser un petit retard eu égard à l'utilisation des technologies propres : en date de 2019, à peine plus de 8% des entreprises manufacturières du Québec en avaient adopté, contre plus de 11% au Canada et plus de 13% en Ontario.*

1.1. Caractéristiques économiques comparées

➢ Toutes proportions gardées, l'Italie demeure le pays qui possède le plus grand nombre d'entreprises manufacturières par million d'habitants, à un peu plus de 6000 (2019).

➢ Le Québec se situe, à 1611 entreprises manufacturières par million d'habitants en 2019, en milieu de peloton à l'échelle des pays recensés et cette proportion est demeurée stable tout au long des années 2010 (1695 en 2011).

➢ L'Ontario et le Canada ont, en termes relatifs, un peu moins d'entreprises manufacturières que le Québec, mais demeurent à des niveaux comparables.

➢ Parmi les autres pays, la France, l'Allemagne et le Royaume-Uni devancent le Québec tandis que les États-Unis et en particulier, la Chine (avec son système communiste et une population gigantesque) comptent beaucoup moins d'entreprises manufacturières par million d'habitants que le Québec.

Graphique 13. Nombre d'entreprises manufacturières par million d'habitants[22]

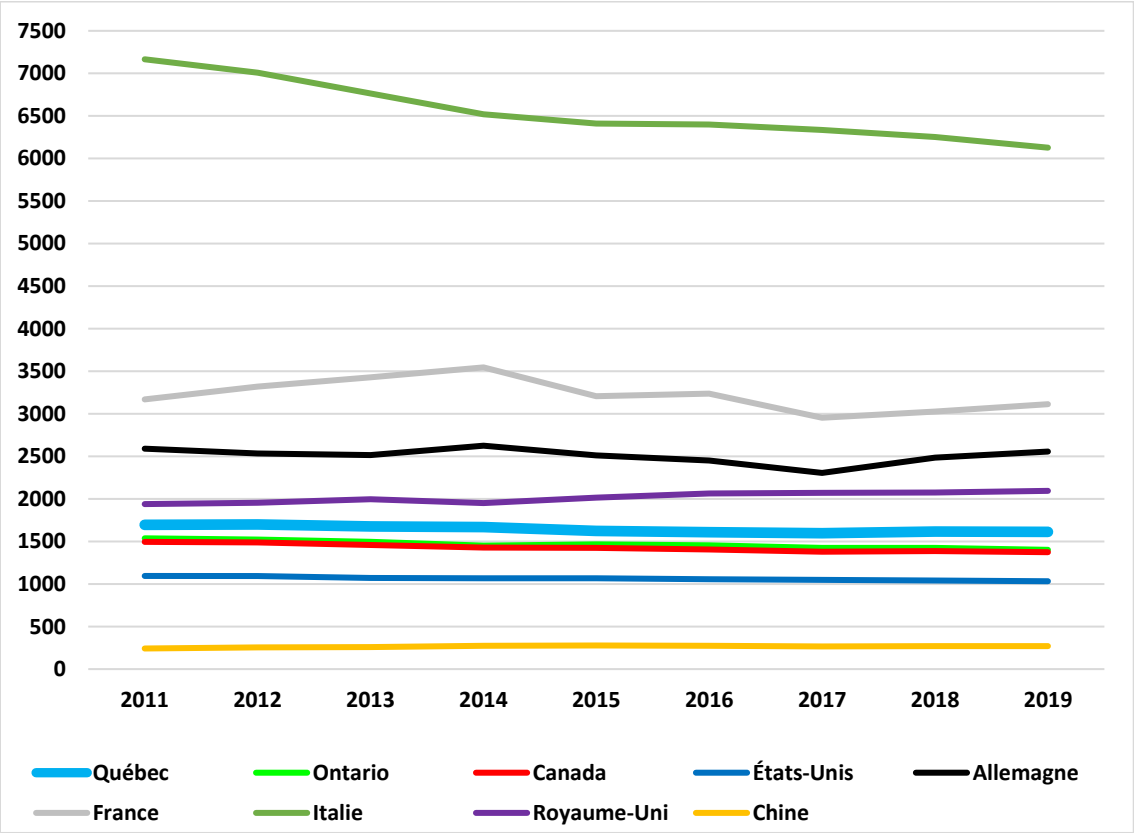
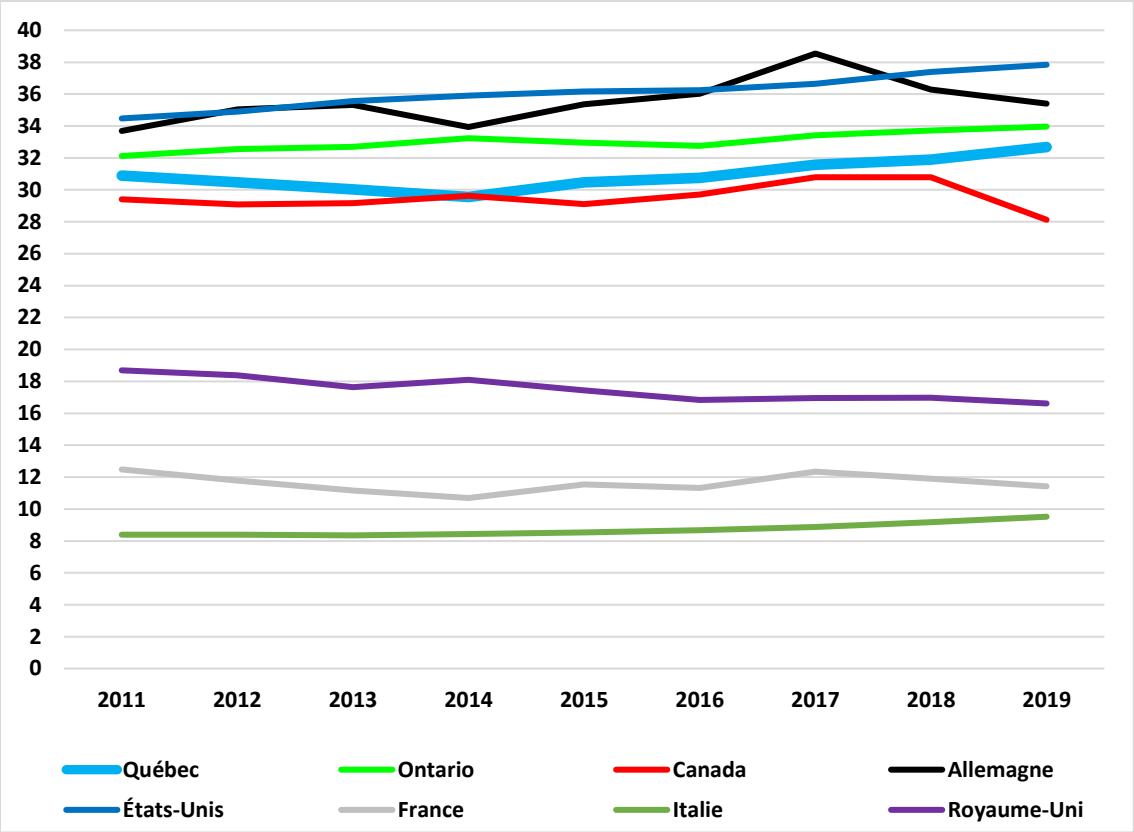


Tableau 3. Nombre total d'entreprises manufacturières en opération, Québec comparé

Manufacturier	2015	2016	2017	2018	2019
Chine	383 148	378 599	372 729	378 440	377 915
Italie	389 317	387 866	383 585	377 730	365 968
Japon					357 907
États-Unis	341 912	341 182	340 453	339 726	339 000
Allemagne	205 028	201 826	190 541	206 043	212 550
France	213 303	216 049	197 657	203 013	209 401
Royaume-Uni	131 100	135 396	136 720	137 901	139 984
Canada	50 902	50 817	50 442	51 338	51 653
Ontario	20 107	20 182	20 052	20 383	20 385
Québec	13 278	13 218	13 256	13 570	13 700

Graphique 14. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur manufacturier[23]



➢ Avec 33 emplois par entreprise manufacturière en moyenne pour 2019, le Québec se situe en milieu de peloton nord-américain et à proximité de l'Allemagne (35 emplois par entreprise en 2019). De manière générale, les entreprises manufacturières américaines (38 employés par entreprise en moyenne) et ontariennes (34) étaient également, en date de 2019, légèrement plus grosses que celles du Québec, qui surpassaient toutefois en taille moyenne les entreprises britanniques (17), françaises (11) et italiennes (10).

➢ La taille moyenne des entreprises dans le secteur manufacturier québécois est demeurée stable, autour des 30 employés, tout au long des années 2010, à l'instar d'ailleurs des autres pays recensés, dont la taille des entreprises manufacturières n'a que peu fluctué durant cette période.

➢ Le Royaume-Uni, la France et l'Italie semblent conserver pour leur part une plus grande proportion de petites et de très petites entreprises. Naturellement dans le cas de l'Italie, le grand nombre d'entreprises par million d'habitants se reflète dans un plus faible nombre moyen d'emplois par entreprise.

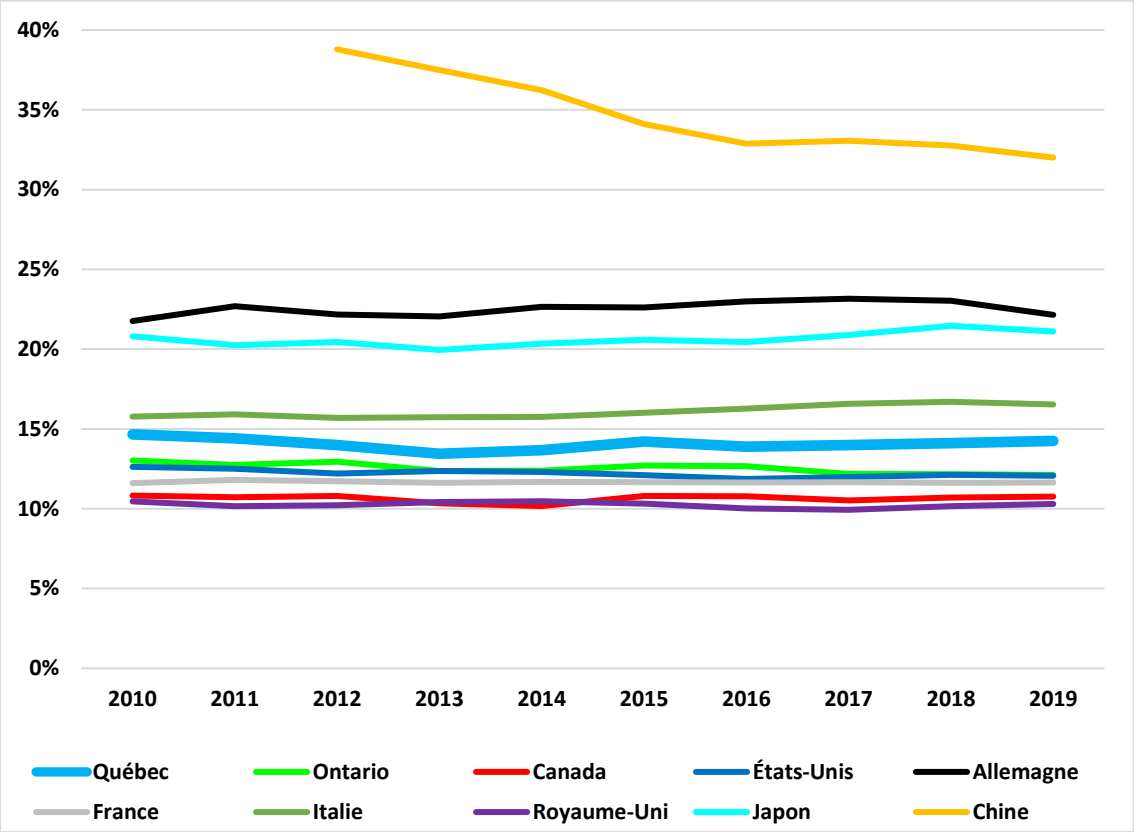
Tableau 4. Nombre total d'emplois manufacturiers, Québec comparé (milliers)

Manufacturier	2015	2016	2017	2018	2019
Chine	230 029	227 377	222 050	218 793	218 468
États-Unis	12 366	12 369	12 474	12 702	12 828
Japon	9 458	9 542	9 598	9 722	9 761
Allemagne	7 249	7 273	7 344	7 477	7 525
Italie	3 320	3 363	3 402	3 469	3 483
France	2 460	2 447	2 439	2 415	2 392
Royaume-Uni	2 286	2 278	2 317	2 340	2 326
Canada	1 482	1 510	1 553	1 581	1 453
Ontario	663	661	670	687	692
Québec	405	407	419	433	448

Tableau 5. Taille moyenne des entreprises manufacturières, Québec comparé (2019)

Manufacturier	**Employés**		**Employés**							
	1 à 249	**250 +**	**1 à 4**	**5 à 9**	**10 à 19**	**20 à 49**	**50 à 99**	**100 à 199**	**200 à 499**	**500 et +**
Italie	99,6%	0,4%								
France	99,3%	0,7%								
Royaume-Uni	99,0%	1,0%								
États-Unis	98,2%	1,8%								
Allemagne	97,9%	2,1%								
Canada			35%	20%	16%	15%	7%	4%	2%	1%
Ontario			35%	20%	16%	15%	7%	4%	3%	1%
Québec			32%	20%	16%	16%	8%	5%	2%	1%

Graphique 15. Part (%) du PIB manufacturier dans l'ensemble de l'économie ($ constants 2015)[24]



➢ C'est en Chine que le manufacturier demeure le plus central dans l'économie nationale, malgré un recul marqué depuis le début des années 2010 (39% à 32% du PIB national entre 2012 et 2019).

➢ Le PIB manufacturier du Québec est légèrement inférieur à 15 % du PIB national, mais cette part demeure supérieure à celle des secteurs manufacturiers ontarien et canadien. À l'échelle internationale, le Québec se retrouve donc en milieu de peloton quant au poids économique de son secteur manufacturier.

➢ La part du PIB manufacturier dans l'ensemble de l'économie québécoise est demeurée relativement stable au cours des années 2010, à l'instar des principales économies avancées recensées ici.

➢ L'Allemagne, le Japon et l'Italie ont un secteur manufacturier dont le poids économique relatif excède encore largement celui du Québec; les États-Unis, la France et le Royaume-Uni ont pour leur part un secteur manufacturier qui occupe une moins grande place dans l'économie nationale.

Tableau 6. PIB manufacturier, Québec comparé (millions $ US constants de 2015)

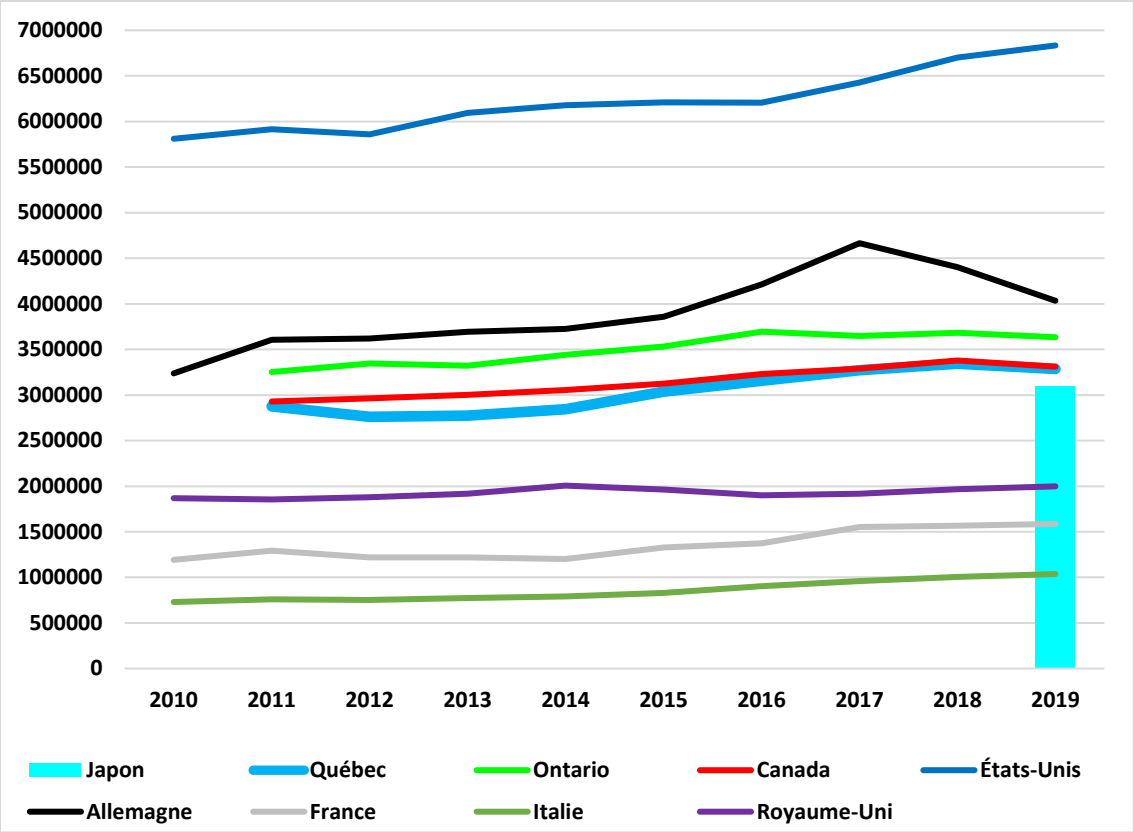
Manufacturier	2015	2016	2017	2018	2019
Chine	6 070 454	6 031 695	6 345 772	6 731 397	6 923 640
États-Unis	2 123 243	2 116 957	2 188 044	2 277 148	2 316 740
Japon	1 064 031	1 044 451	1 091 964	1 138 733	1 109 864
Allemagne	791 346	850 164	888 942	906 925	857 366
Italie	322 589	350 271	368 039	379 151	379 365
France	283 639	296 576	307 128	317 984	332 237
Royaume-Uni	257 451	257 203	262 229	271 360	279 615
Canada	159 065	164 235	165 979	173 458	171 016
Ontario	70 990	74 566	73 178	75 068	74 101
Québec	40 344	41 717	43 361	45 375	45 016

Tableau 7. Top-3 des principaux secteurs manufacturiers, Québec comparé (PIB en millions $ US constants de 2015 et % du PIB manufacturier total)

Top 3	Industrie	$	%
Québec	Agroalimentaire	7 035	16%
	Métallurgie / Produits métalliques	6 991	16%
	Matériel de transport (sauf auto)	5 950	13%
Ontario	Automobile	11 751	16%
	Agroalimentaire	10 130	14%
	Métallurgie / Produits métalliques	10 121	14%
Canada	Agroalimentaire	26 599	16%
	Métallurgie / Produits métalliques	22 549	13%
	Pharmaceutique	17 622	10%
États-Unis	Équipement électrique & électronique	386 226	17%
	Pharmaceutique	353 914	15%
	Agroalimentaire	255 616	11%
Allemagne	Automobile	180 263	21%
	Machinerie industrielle	132 004	15%
	Équipement électrique & électronique	115 495	13%
France	Agroalimentaire	62 127	19%
	Pharmaceutique	50 480	15%
	Métallurgie / Produits métalliques	35 048	11%
Italie	Métallurgie / Produits métalliques	57 658	15%
	Machinerie industrielle	56 634	15%
	Agroalimentaire	43 289	11%
Royaume-Uni	Agroalimentaire	49 927	18%
	Pharmaceutique	32 752	12%
	Métallurgie / Produits métalliques	28 214	10%
Japon[iv]	Équipement électrique & électronique	168 370	15%
	Machinerie industrielle	166 325	15%
	Métallurgie / Produits métalliques	132 257	12%
Chine	Agroalimentaire	908 899	13%
	Pharmaceutique	822 567	12%
	Métallurgie / Produits métalliques	815 930	12%

[iv] En raison de la disponibilité partielle des données, le classement japonais ne prend pas en compte les industries de l'Automobile et du Matériel de transport, des Produits du bois et des Produits de caoutchouc.

Graphique 16. PIB par entreprise manufacturière (millions $ US constants 2015)[25]

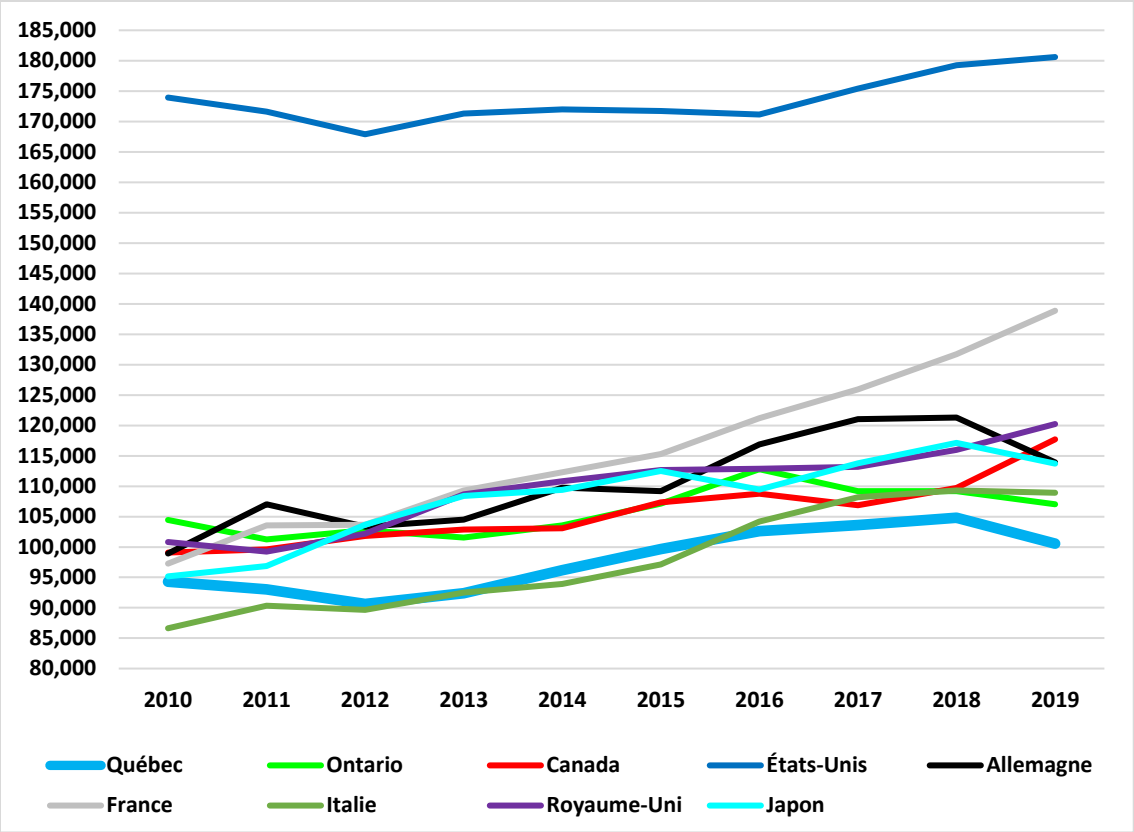


➢ Les États-Unis ont conservé de loin la production moyenne par entreprise manufacturière la plus importante parmi les économies avancées recensées, à plus de 6,8 millions $ US par entreprise (2019). L'Allemagne suit en seconde position mais d'assez loin, à 4 millions $ US de PIB par entreprise manufacturière environ (2019).

➢ La production moyenne par entreprise manufacturière au Québec, à environ 3,3 millions $US en date de 2019, se compare à la moyenne canadienne mais demeure légèrement inférieure à celle de l'Ontario (3,6 millions $US). Dans les trois cas, on note une croissance modérée depuis le début des années 2010.

➢ Le Québec manufacturier se démarque positivement, en date de 2019, du Japon (3,1 millions $US), du Royaume-Uni (2 millions $ US), de la France (1,6 millions $US) et de l'Italie (1 million $ US) pour la production moyenne par entreprise mais demeure loin des niveaux atteints en Allemagne ou aux États-Unis.

Graphique 17. PIB par emploi manufacturier ($ US constants 2015)[26]

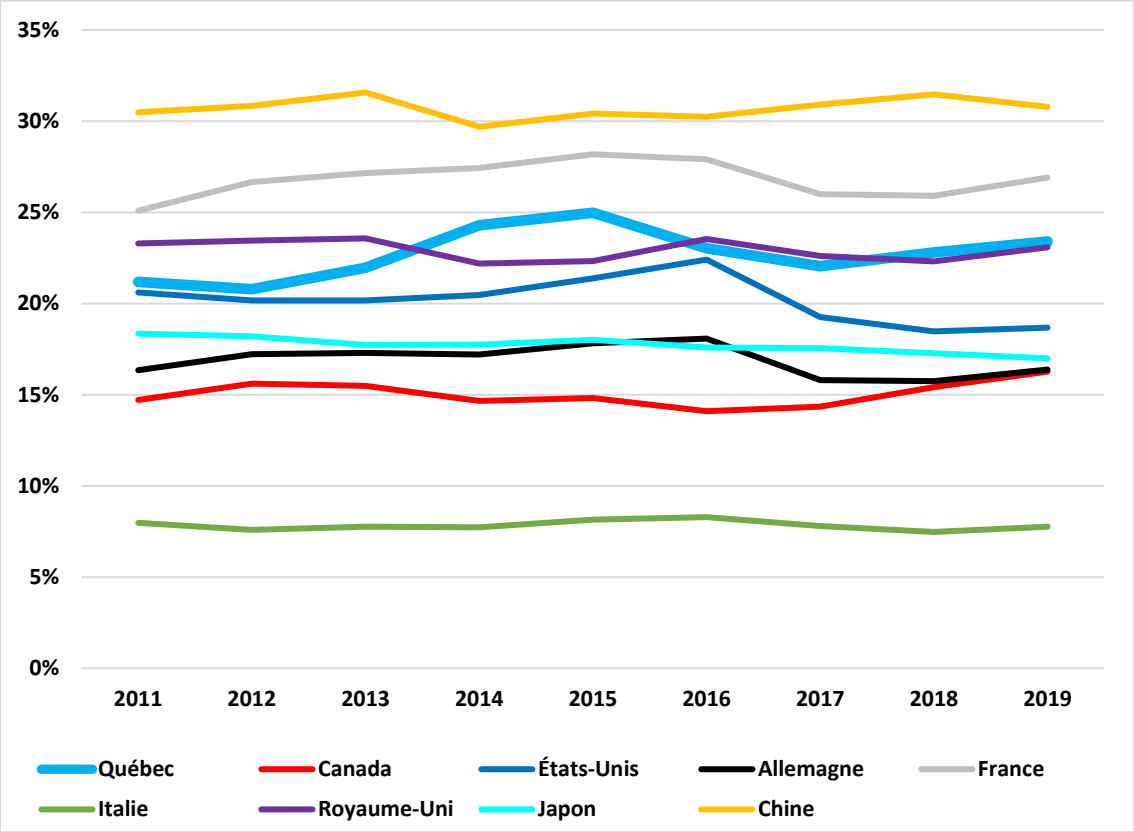


➢ On remarque dans le secteur manufacturier une tendance généralisée à la hausse de la productivité du travail[27], au cours des années 2010, pour l'ensemble des économies avancées recensées. Le Québec ne fait pas exception, alors que sa productivité du travail dans le secteur manufacturier est passée d'un peu plus de 93 000 $US par emploi en 2010 à un peu plus de 100 000 $US en 2019.

➢ Les États-Unis sont le pays dont la productivité du travail dans le secteur manufacturier est de très loin la plus élevée, à plus de 180 000 $US par emploi. La France occupe la seconde place et fait très bien à près de 140 000 $US par emploi, et le rythme de croissance de sa productivité va en s'accélérant.

➢ À un peu plus de 100 000 $US par emploi le Québec tire une productivité comparativement faible de ses travailleurs dans le secteur manufacturier, malgré une croissance notable au cours des années 2010. Le Québec s'est comparé un certain temps à l'Italie mais le niveau de productivité du travail de cette dernière, pour le secteur manufacturier dans son ensemble, a dépassé celui du Québec au tournant de l'année 2016. Le Québec demeure également, pour cette mesure, derrière l'Ontario (109 000 $US par emploi) et le Canada (118 000 $US).

Graphique 18. Valeur des exportations de haute technologie en % des exportations manufacturières[28]

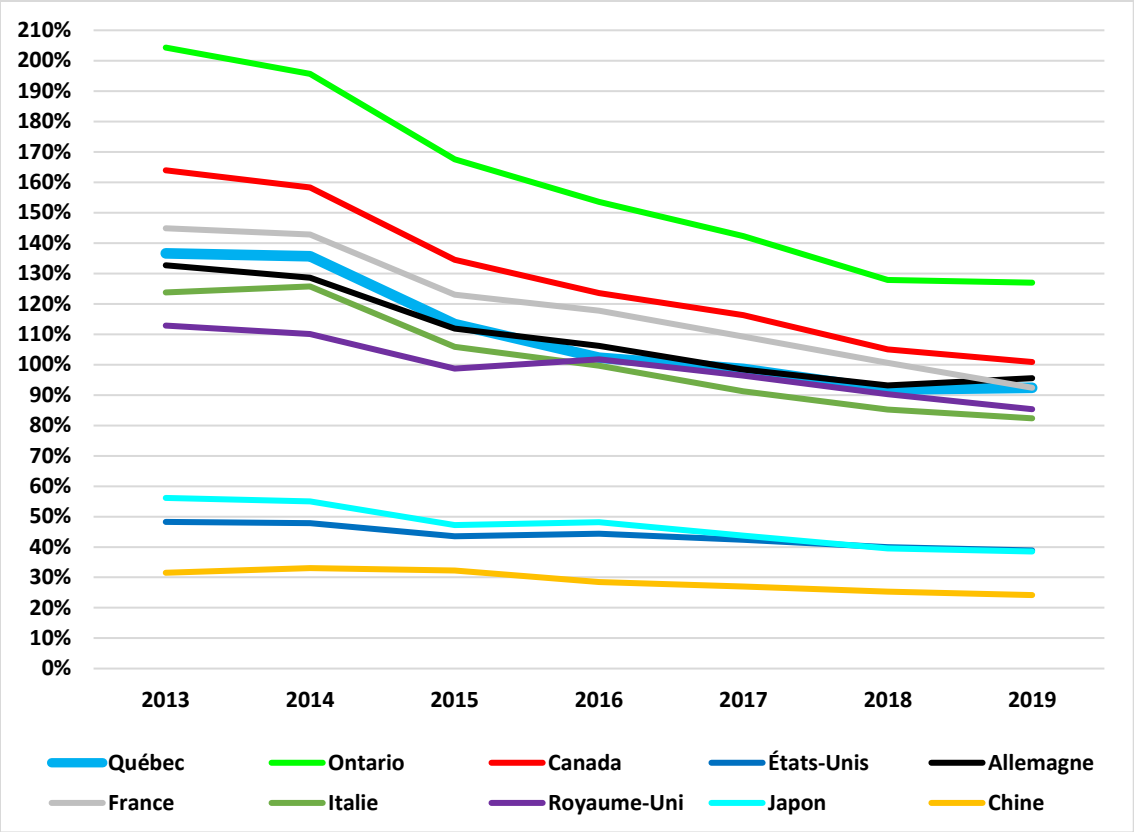


➢ La Chine est au 1er rang et la France au 2e rang des pays qui ont le plus haut taux d'exportations manufacturières de haute technologie, à respectivement 31% et 27% de leurs exportations manufacturières totales en date de 2019.

➢ Le Canada vient à l'avant-dernier rang à environ 16% d'exportations de haute technologie parmi ses exportations manufacturières, au pair avec l'Allemagne pour 2019 malgré une légère augmentation relative de ses exportations manufacturières de haute technologie depuis le milieu des années 2010. La part des exportations de haute technologie de l'Italie est de loin la plus faible des pays de l'échantillon, alors que le Japon, les États-Unis et le Royaume-Uni sont en milieu de peloton.

➢ La part relative des exportations de haute technologie parmi les exportations manufacturières est plutôt stable depuis le début des années 2010, et ce pour tous les pays recensés. On note une légère tendance à la hausse des exportations de haute technologie du Québec, la province se comparant avantageusement aux économies avancées recensées. La province se retrouve en troisième position derrière la Chine et la France, alors qu'un peu plus de 23% de ses exportations manufacturières peuvent être classées parmi les exportations de « haute technologie ».

Graphique 19. Valeur des exportations manufacturières en % du PIB manufacturier[29]



➢ On note un recul généralisé, parmi les économies avancées, des exportations manufacturières en proportion du PIB manufacturier, mais ce recul est moins prononcé pour le Japon, les États-Unis et la Chine, dont les exportations pèsent proportionnellement beaucoup moins lourd (moins de 40% du PIB manufacturier dans le cas des États-Unis et du Japon, moins de 25% dans le cas de la Chine)

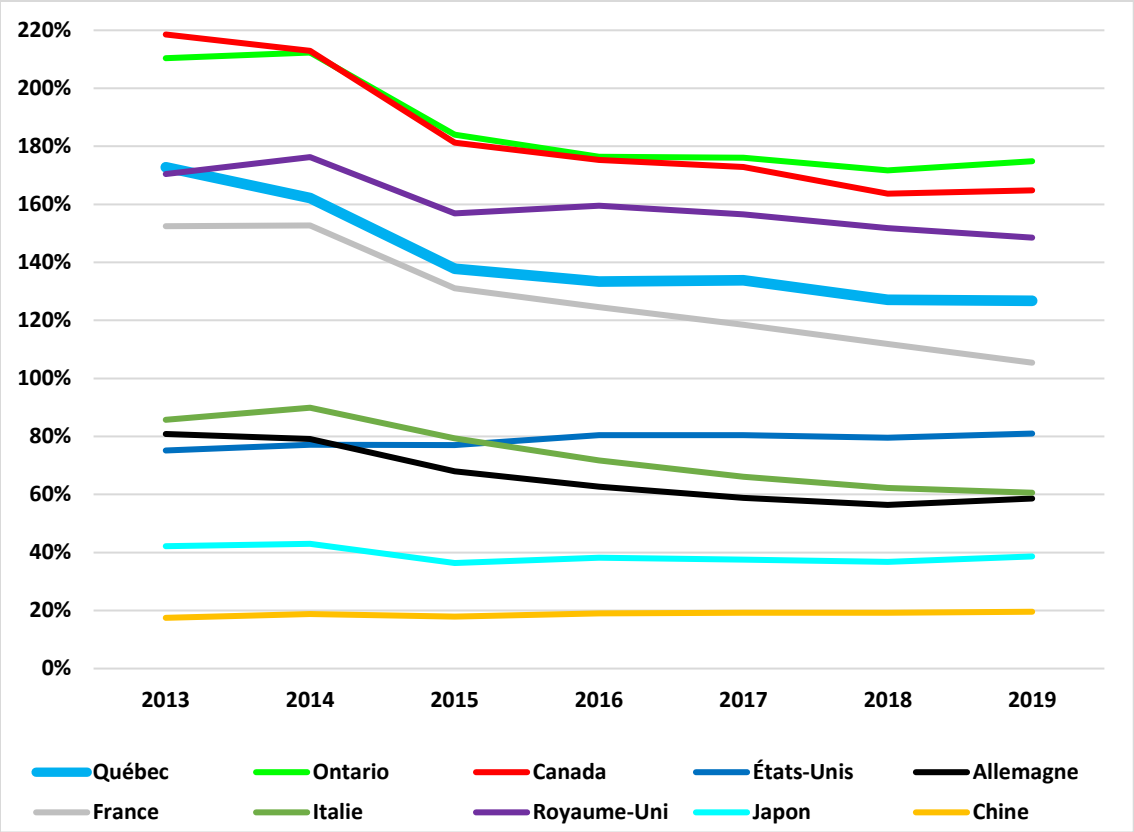
➢ Plusieurs pays se retrouvaient en 2019 entre les 80% et les 100%, tandis que l'Ontario se démarquait nettement avec des exportations manufacturières équivalant à 130% de son PIB manufacturier.

➢ Le Québec se retrouve en milieu de peloton alors que ses exportations manufacturières représentent environ 93% du PIB du secteur (2019), sous les niveaux atteints en Ontario et au Canada (101%) mais à peu près au pair avec la France (92%) et l'Allemagne (96%). Cette part est également à la baisse au Québec, étant passée de près de 140% en 2013 à près de 90% en 2019.

Tableau 8. Exportations manufacturières totales, Québec comparé (millions $ US constants de 2015)

Manufacturier	2015	2016	2017	2018	2019
Chine	1 957 702	1 718 946	1 713 871	1 700 747	1 674 201
États-Unis	924 107	939 091	926 009	910 324	900 446
Allemagne	885 240	902 497	874 186	844 910	818 920
Japon	502 870	503 005	477 247	450 544	427 538
Italie	341 342	349 166	335 651	322 944	312 343
France	348 956	349 253	335 541	319 777	306 992
Royaume-Uni	254 177	261 624	252 819	244 944	238 607
Canada	213 963	202 962	192 964	182 126	172 490
Ontario	118 973	114 529	104 096	96 007	94 081
Québec	45 703	42 681	42 743	41 652	41 608

Graphique 20. Valeur des importations manufacturières en % du PIB manufacturier[30]



➢ Les importations manufacturières représentaient en 2019 plus de 100% du PIB manufacturier en Ontario (175%), au Canada (165%), au Royaume-Uni (149%), au Québec (127%) et en France (105%). Dans tous les cas, cette part est cependant en déclin assez important depuis le début des années 2010. Au Québec par exemple, elle est ainsi passée de plus de 170% en 2013 à moins de 130% en 2019.

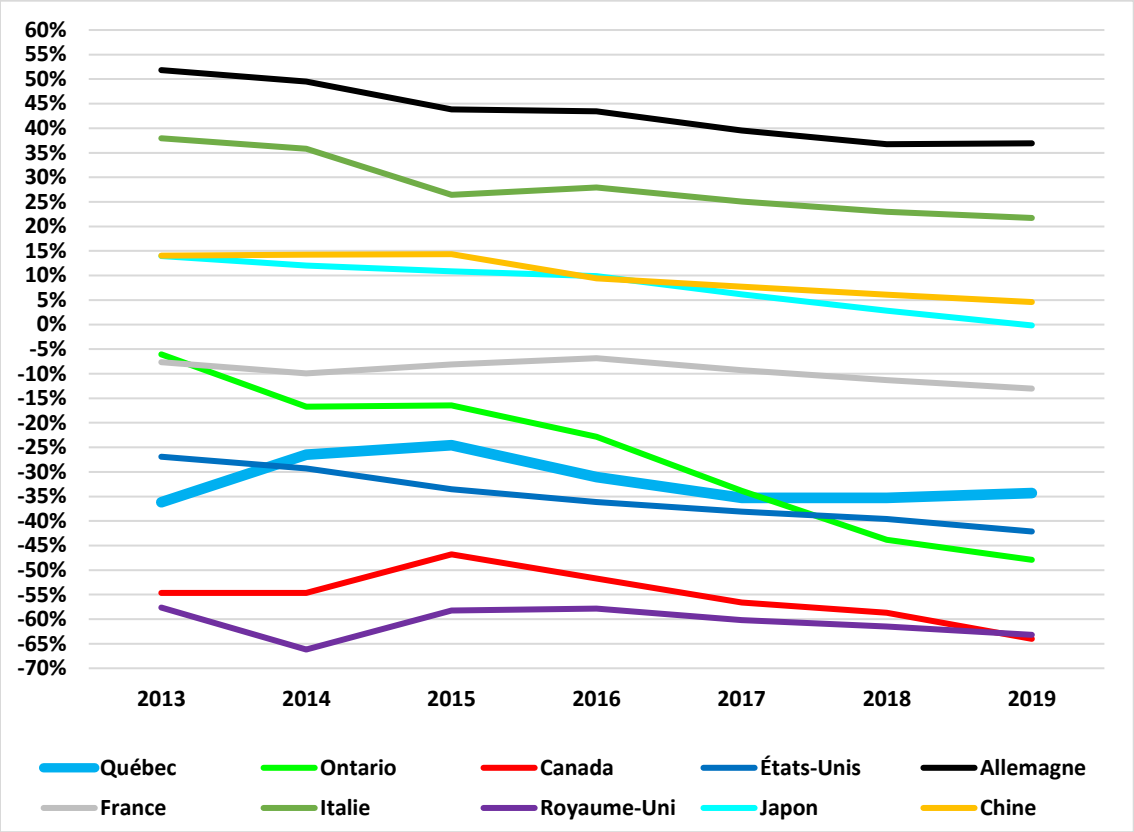
➢ À l'échelle internationale, le Québec demeure donc parmi les juridictions dont le secteur manufacturier dépend le plus fortement des importations; cela se reflète d'ailleurs au niveau de son solde commercial manufacturier, légèrement négatif (34% du PIB manufacturier).

➢ En revanche, les États-Unis (81%), l'Italie (60%), l'Allemagne (60%), le Japon (39%) et la Chine (20%) importent beaucoup moins d'intrants et de produits manufacturiers en proportion de leur PIB du secteur de la fabrication.

Tableau 9. Importations manufacturières totales, Québec comparé (millions $ US constants de 2015)

Manufacturier	2015	2016	2017	2018	2019
États-Unis	1 635 476	1 703 573	1 759 415	1 811 544	1 876 766
Chine	1 086 849	1 150 256	1 222 238	1 292 596	1 356 051
Allemagne	538 137	533 113	522 840	511 643	502 100
Japon	387 086	399 563	409 932	418 468	429 394
Royaume-Uni	404 018	410 399	410 582	411 830	415 334
France	371 949	369 552	364 085	355 817	350 290
Canada	288 394	287 858	286 939	283 946	281 953
Italie	255 984	251 235	243 357	235 933	229 933
Ontario	130 649	131 560	128 864	128 908	129 583
Québec	55 614	55 648	58 035	57 672	57 066

Graphique 21. Valeur de la balance commerciale manufacturière en % du PIB manufacturier[31]



➢ Toutes les juridictions recensées à l'exception du Québec (-36% à -34%) ont vu leur balance commerciale manufacturière se dégrader, en proportion de leur PIB manufacturier, entre 2013 et 2019.

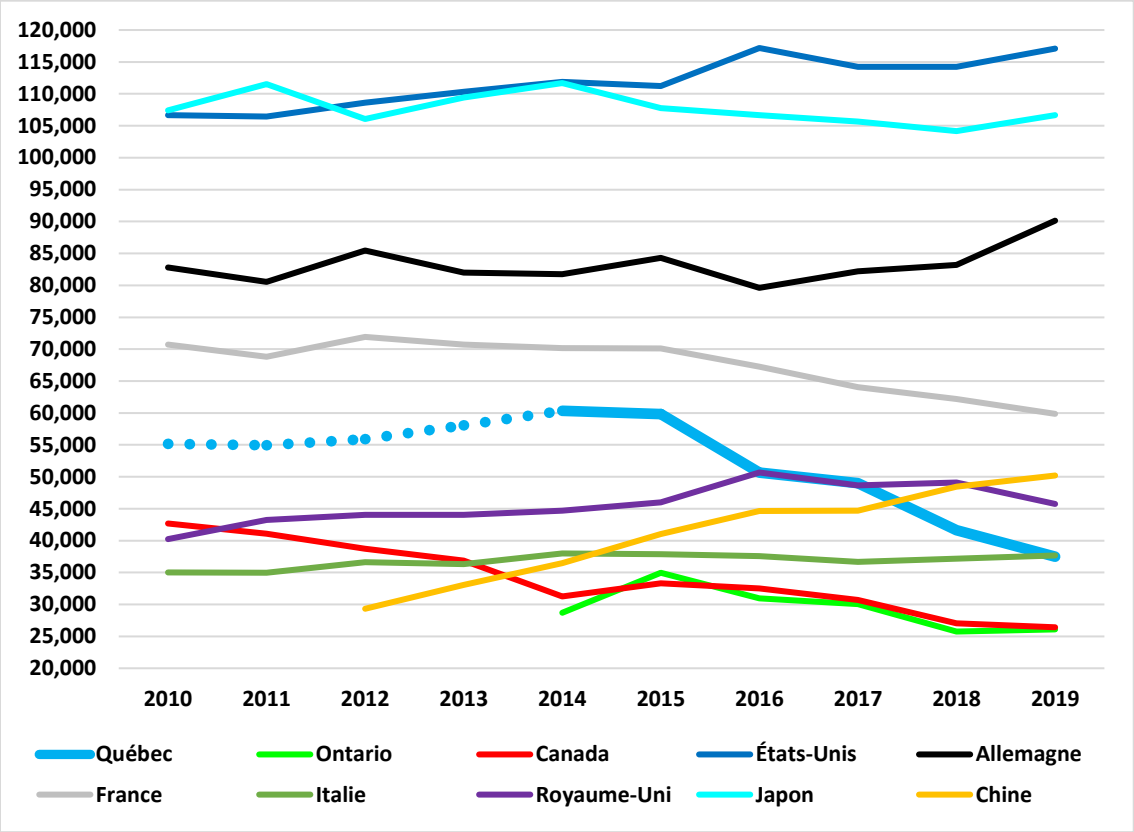
➢ Seulement trois pays parmi les économies avancées recensées ont conservé une balance commerciale manufacturière positive, en proportion de leur PIB manufacturier, au cours des années 2010, soit : l'Allemagne (+37%), l'Italie (+22%) et la Chine (+5%). Le Japon est pour sa part tout proche de l'équilibre commercial, son déficit pour 2019 ne représentant que 0,2% de son PIB manufacturier.

➢ La balance commerciale manufacturière du Québec est, en proportion de son PIB manufacturier, moins déficitaire que celle de l'Ontario (- 48% en 2019), qui s'est fortement dégradée depuis 2013, puis moins déficitaire que celle du Canada dans son ensemble également (- 65% en 2019). Le Québec fait également un peu mieux, sur cette mesure, que les États-Unis dont le déficit commercial manufacturier atteignait 42% du PIB du secteur en 2019.

Tableau 10. Balance commerciale manufacturière, Québec comparé (millions $ US constants de 2015)

Manufacturier	2015	2016	2017	2018	2019
Chine	870 853	568 690	491 633	408 151	318 150
Allemagne	347 103	369 384	351 346	333 267	316 820
Italie	85 359	97 931	92 295	87 011	82 410
Japon	115 784	103 442	67 315	32 076	-1 856
Québec	-9 910	-12 966	-15 292	-16 020	-15 458
Ontario	-11 676	-17 031	-24 768	-32 900	-35 501
France	-22 993	-20 299	-28 544	-36 040	-43 298
Canada	-74 431	-84 896	-93 975	-101 820	-109 463
Royaume-Uni	-149 841	-148 775	-157 763	-166 886	-176 726
États-Unis	-711 369	-764 482	-833 405	-901 219	-976 320

Graphique 22. Dépenses en R&D manufacturière pour chaque million de $ de PIB du secteur manufacturier ($ US constants de 2015)[32]



➢ En matière de dépenses en R&D manufacturière, le Québec [v] se compare encore avantageusement à l'Ontario et au Canada et se situe à peu près au niveau atteint par l'Italie, à environ 38 000 $US pour chaque million $US de PIB.

➢ À l'échelle des pays recensés toutefois, l'Ontario et le Canada sont les juridictions qui réinvestissent le moins les fruit de la production manufacturière en R&D. Toutes proportions gardées, le Québec manufacturier est donc loin d'être un champion de la R&D manufacturière : il se retrouve toujours derrière le Royaume-Uni (46 000$US/million $US de PIB), la Chine (50 000 $US) et la France (60 000 $US) puis surtout, très en deçà des niveaux atteints par l'Allemagne (90 000 $US), le Japon (107 000$ US) ou les États-Unis (117 000$ US).

➢ De manière générale depuis le début des années 2010, la tendance semble être à la baisse des dépenses en R&D manufacturière du côté du Québec, de l'Ontario, du Canada, de la France et du Japon, alors que l'Italie, le Royaume-Uni, l'Allemagne et les États-Unis suivent plutôt une tendance à la hausse.

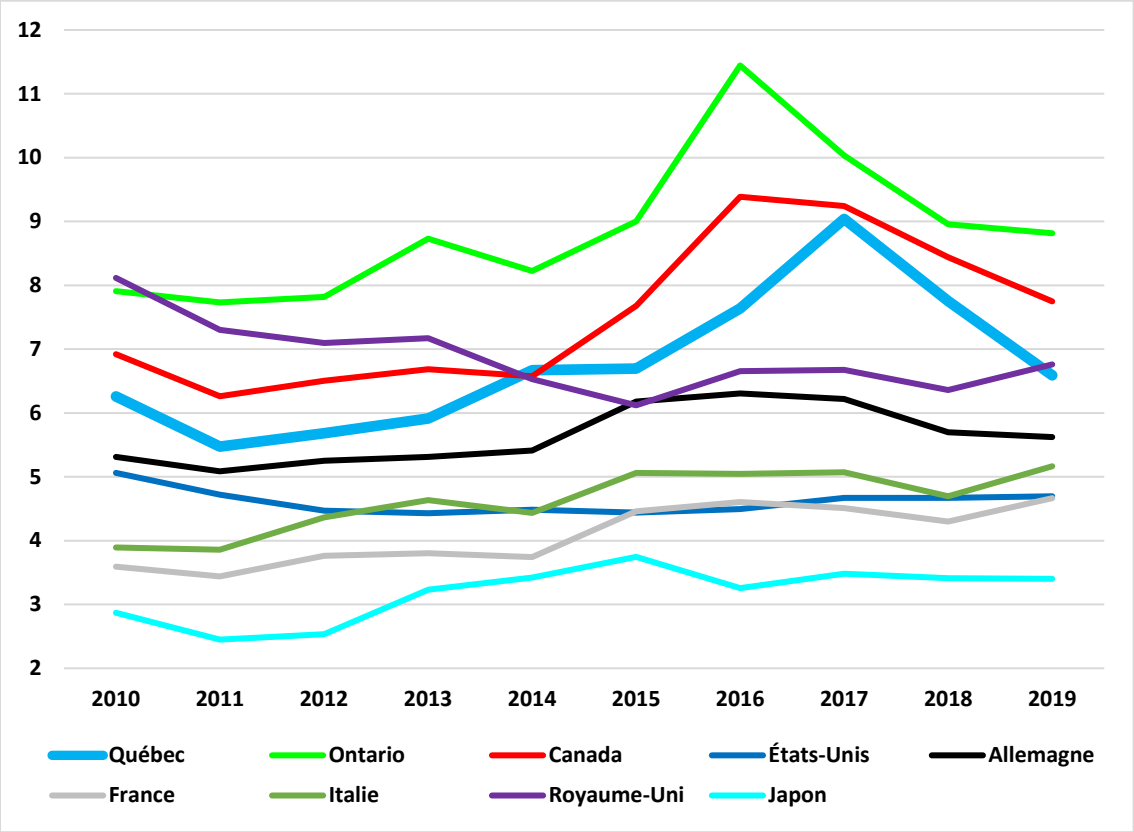
---

[v] Les données du Québec pour la période 2010-2013 proviennent de l'*Enquête sur la recherche et le développement dans l'industrie canadienne* de Statistique Canada. Les données de 2014-2019 ne sont pas comparables avec celles des années antérieures. À utiliser avec prudence.

Tableau 11. Dépenses en R&D manufacturière, Québec comparé (millions $ US constants de 2015)

Manufacturier	2015	2016	2017	2018	2019
Chine	249 056	269 269	283 732	326 105	347 603
États-Unis	236 132	248 067	249 931	260 088	271 229
Japon	114 663	111 399	115 402	118 614	118 401
Allemagne	66 716	67 676	73 089	75 448	77 275
France	19 890	19 939	19 667	19 778	19 889
Italie	12 223	13 162	13 492	14 091	14 301
Royaume-Uni	11 842	13 034	12 754	13 330	12 794
Canada	5 301	5 336	5 098	4 692	4 518
Ontario	2 482	2 307	2 198	1 933	1 934
Québec	2 414	2 112	2 125	1 888	1 688

Graphique 23. PIB manufacturier pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur manufacturier ($ US constants de 2015)[33]



➢ On observe au Québec comme en Ontario et au Canada un recul de la productivité du capital[vi] dans le secteur manufacturier entre 2016 et 2019. La productivité du capital y demeure cependant dans la fourchette la plus élevée parmi les juridictions recensées, et en légère croissance sur l'ensemble de la décennie 2010. Cela s'explique toutefois en partie par la faiblesse relative (Tableau 12) des investissements en formation brute de capital fixe au Canada (ainsi qu'en Ontario et dans une moindre mesure, au Québec).

➢ La productivité du capital du secteur manufacturier québécois se compare à celle du Royaume-Uni à un peu moins de 7 $US de PIB par dollar de formation brute de capital fixe en date de 2019. Cette productivité du capital pour le Québec demeure également assez largement supérieure aux niveaux atteints par l'Allemagne (5,6 $US), l'Italie (5,2 $US), les États-Unis (4,7 $US), la France (4,7 $US) et le Japon (3,4 $US). Ici encore, cela s'explique en partie par le fait que

[vi] La *formation brute de capital fixe* (FBCF) représente l'ensemble de l'acquisition d'actifs destinés à des fins de production. Il peut s'agir, par exemple, de terrains, de bâtiments, de machines ou d'équipements et s'agir soit d'actifs corporels (actifs tangibles) ou incorporels (actif intangibles, par exemple les brevets). La « productivité du capital » évalue le rendement de la FBCF (dollars de PIB obtenus pour chaque dollar investi en capital), par opposition à la « productivité du travail » (dollars de PIB obtenus par travailleur ou par heure travaillée).

le Québec investisse en capital fixe, relativement parlant, une part largement moins élevée de son PIB manufacturier que ce n'est le cas dans la plupart des pays recensés (15% en 2019 contre jusqu'à 29% au Japon; voir Tableau 12).

➢ Les deux seuls pays dont la productivité du capital semble avoir légèrement décliné, dans le secteur manufacturier, au cours de la décennies 2010 sont le Royaume-Uni et les États-Unis.

Tableau 12. Formation brute de capital fixe, secteur manufacturier, Québec comparé (millions $ US constants de 2015; % du PIB manufacturier)

Manufacturier	2015	2016	2017	2018	2019
États-Unis	478 057	470 795	468 584	487 876	493 408
en % du PIB manufacturier	23%	22%	21%	21%	21%
Japon	284 104	320 931	313 676	333 765	326 276
en % du PIB manufacturier	27%	31%	29%	29%	29%
Allemagne	128 095	134 816	142 914	159 233	152 491
en % du PIB manufacturier	16%	16%	16%	18%	18%
Italie	63 743	69 439	72 557	80 775	73 452
en % du PIB manufacturier	20%	20%	20%	21%	19%
France	63 628	64 390	68 101	73 991	71 217
en % du PIB manufacturier	22%	22%	22%	23%	21%
Royaume-Uni	42 066	38 632	39 298	42 684	41 372
en % du PIB manufacturier	16%	15%	15%	16%	15%
Canada	20 714	17 495	17 958	20 553	22 077
en % du PIB manufacturier	13%	11%	11%	12%	13%
Ontario	7 885	6 515	7 293	8 383	8 404
en % du PIB manufacturier	11%	9%	10%	11%	11%
Québec	6 025	5 462	4 796	5 852	6 829
en % du PIB manufacturier	15%	13%	11%	13%	15%

1.2. Maturité technologique comparée

Pour ce second volet, nous analysons et comparons la maturité technologique du secteur manufacturier québécois dans son ensemble, et ce principalement sur la base des données et des estimations tirées des compilations de l'IFR mais également, grâce aux données de l'ISQ, de Statistique Canada, de l'OCDE, d'Eurostat et de l'*United States Census Bureau*. Nous procédons en deux temps : d'abord, nous traitons de la question particulière de l'intégration des technologies de *robotique industrielle* par les manufacturiers québécois. Dans un second temps, nous répétons l'exercice mais cette fois, à l'aune de l'intégration de différentes technologies de pointe, émergentes et propres incluant mais ne se limitant pas à la robotique : pensons, en ce qui concerne les premières, aux logiciels de gestion de la chaîne d'approvisionnement, aux technologies de conception assistée par ordinateur, aux systèmes de surveillance en temps réel, ou à l'utilisation de technologies au laser/plasma; puis en ce qui a trait aux technologies émergentes et propres, pensons à l'intelligence artificielle, à l'impression 3D, à l'analyse des données massives, aux nanotechnologies, aux équipement écoénergétiques, aux systèmes de gestion des déchets, de l'énergie ou de l'eau, etc. Cela nous permet d'établir *deux* niveaux d'analyse et de comparaison afin d'évaluer le degré de maturité technologique *3.0.* (robotique et autres technologies d'automatisation/numérisation) et *4.0.* (technologies émergentes et technologies propres) du manufacturier québécois.

Tableau 13. Classification des secteurs manufacturiers québécois par niveaux technologiques[34]

Faible technologie	Moyenne-faible technologie	Moyenne-haute technologie	Haute technologie
Textiles et vêtements Fabrication des aliments/boissons Pâtes et papiers/imprimerie Meubles	Produits du pétrole/charbon Produits minéraux non-métalliques Produits de plastique/coutchouc Métallurgie Produits métalliques Construction navale	Machinerie Matériel ferroviaire roulant Véhicules automobiles Matériel électrique Produits chimiques	Produits pharmaceutiques Électronique Aérospatiale

Ainsi étudiée à un niveau agrégé, nos constats sur la maturité technologique du secteur québécois de la fabrication sont de plusieurs ordres. *En ce qui concerne l'utilisation de la robotique industrielle en particulier, le Québec accuse toujours sur l'Ontario et sur la majorité des pays industriels avancés un retard relativement important; toutefois, un rattrapage est visiblement en cours depuis le milieu des années 2010 et, en excluant de l'équation le secteur automobile (qui demeure de loin le plus robotisé parmi les différents secteurs manufacturiers), on constate que ce retard du Québec se révèle moins marqué que généralement présenté*. En ce qui a trait aux autres technologies 3.0. et 4.0., les tendances sont également plus nuancées : le Québec manufacturier y est clairement divisé en deux, les secteurs de faible/moyenne-faible et de moyenne-haute/haute intensité technologique se distinguant nettement (Tableau 13). De manière générale toutefois, *on remarque un certain retard généralisé en matière d'adoption des technologies d'automatisation/numérisation et des technologies propres, mais une légère avance eu égard à l'intégration des technologies émergentes. Ainsi, on peut vraisemblablement en conclure qu'ayant accumulé un certain retard quant à la transition vers le 3.0., les manufacturiers québécois adoptent en revanche plus précocement et directement les technologies émergentes, dans des proportions souvent légèrement plus élevées qu'ailleurs (et notamment qu'en Ontario ou au Canada)*.

1.2.1. Utilisation de la robotique

Nous avons déjà évoqué en introduction le fait qu'en matière de robotisation, l'économie québécoise a, malgré un retard accumulé depuis les années 1990, amorcé un rattrapage important face au reste du Canada mais aussi face aux principales économies industrielles avancées au cours de la dernière décennie et en particulier, depuis le milieu des années 2010 – c'est-à-dire à mesure, notamment, que la valeur du dollar canadien reculait et que la compétitivité internationale du secteur manufacturier du Québec s'accroissait en conséquence. Évidemment, la croissance rapide des installations annuelles et du stock de robots industriels opérationnels au sein de l'économie québécoise dans son ensemble a été, comme partout ailleurs quoique à des degrés divers, principalement le fait du secteur manufacturier.

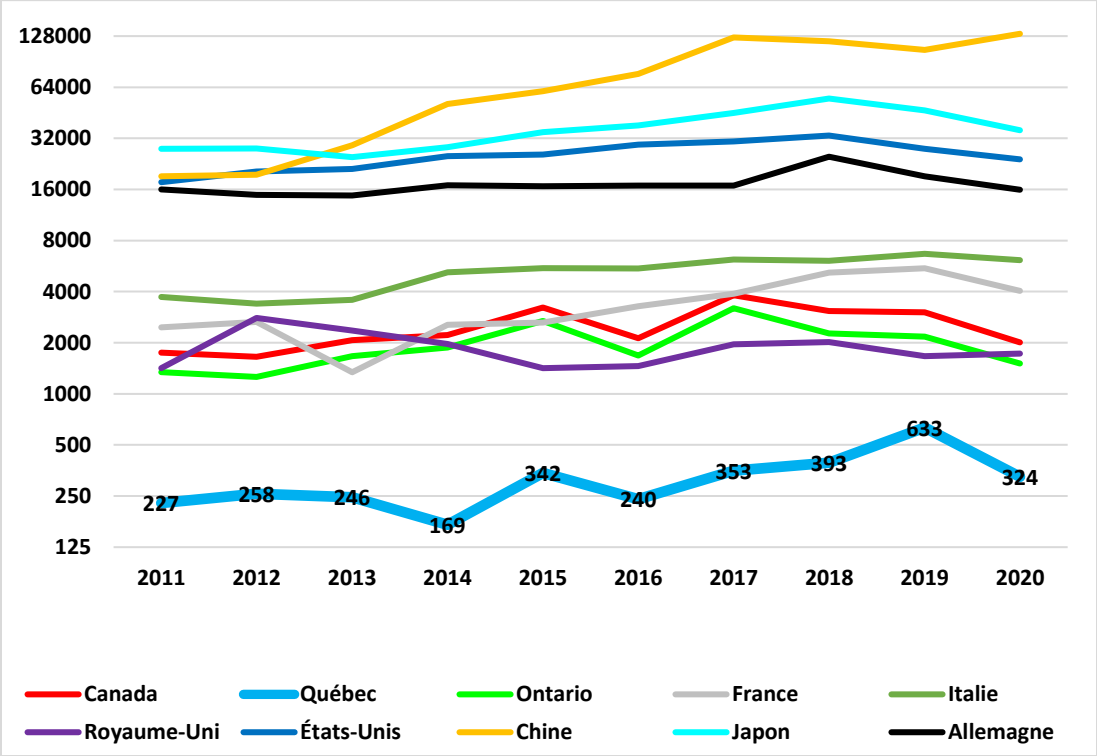
Parmi les pays analysés dans le cadre de ce rapport en effet, le stock de robots industriels opérationnels du secteur manufacturier représentait en 2020 entre 74% (Italie) et 97% (Japon) du stock national, tous secteurs économiques confondus. À 90%, le poids du secteur manufacturier canadien se situe à cet égard parmi les plus importants, derrière celui du Japon mais devant ceux des États-Unis et du Royaume-Uni (88%), de l'Allemagne (83%), de la France (82%) ou de la Chine (80%). À quelques exceptions près et y compris au Canada, néanmoins, cette proportion est en déclin depuis au-delà d'une décennie, alors que les secteurs agricole, minier, de la construction et autres se robotisent également à bon rythme. Entre 2011 et 2020 par exemple, les installations annuelles de robots industriels des secteurs manufacturiers de tous ces pays sont passées de plus de 85% du total de tous les secteurs économiques en moyenne, à moins de 80%.

En croisant, tel que décrit en introduction, les données de l'IFR sur le Canada ainsi que les données d'*Innovation, Sciences et Développement économique Canada* sur les importations de robots industriels par province (pour les détails méthodologiques, voir les notes de fin de document systématiquement associées aux graphiques), de même qu'en appliquant au Québec manufacturier la même proportion des installations annuelles totales (tous secteurs économiques confondus) que pour le secteur manufacturier canadien, nous avons pu estimer, de manière plus précise que cela n'avait jamais été fait auparavant et de manière longitudinale : le nombre de robots installés chaque année par le secteur de la fabrication québécois, le stock cumulatif de robots opérationnels dans ce secteur, puis sa densité robotique (nombre de robots opérationnels pour chaque tranche de 10 000 employés du secteur). Ces estimations, de même que les données officielles de l'IFR pour les autres économies avancées, sont présentées aux fins de la comparaison dans les graphiques qui suivent.

En ce qui concerne d'abord les installations annuelles de robots industriels par le secteur manufacturier québécois, plusieurs observations s'imposent. Il est d'abord assez évident que le rythme de robotisation du secteur se soit accéléré à compter de 2014-2015, pour culminer en 2019 et décliner sensiblement en 2020, sous le poids de la crise sanitaire. Si cette décélération de 2020 a d'ailleurs été observée également en Ontario, au Canada, aux États-Unis, en Allemagne, en France et au Japon, elle risque néanmoins de se révéler, à la lumière des statistiques qui deviendront disponibles au cours des prochaines années, circonstancielle et temporaire. Les projections de l'IFR

(Statistical Department, 2021) à l'horizon de 2025 et au-delà prévoient en effet, en bonne partie en raison, précisément, des défis postpandémiques (pénuries de main d'œuvre, relocalisations, concurrence des économies émergentes, personnalisation de la demande, transition énergétique, etc.), un retour généralisé à la croissance de la robotisation manufacturière.

Graphique 24. Installations annuelles de robots industriels par pays, secteur manufacturier (échelle logarithmique)[35]



De la même manière, *plusieurs études et sondages ont bien montré, dans le cas du Canada comme du Québec, qu'un intérêt accru envers la robotique et plus généralement, les technologies manufacturières 3.0. et 4.0. s'est développé dans la foulée de la crise sanitaire, à peu près pour les mêmes raisons et en particulier pour pallier aux pénuries de main d'oeuvre*. Le *Baromètre industriel québécois 2022* de STIQ (2022), par exemple, montre qu'environ 40% des manufacturiers québécois ont, depuis 2020, adopté de nouveaux outils technologiques et accéléré leur automatisation, puis qu'environ 70% d'entre eux considèrent leur modernisation technologique comme une priorité. De façon similaire, l'enquête effectuée à l'automne 2021 par Léger (2022) pour le compte d'Investissement Québec et du Ministère de l'Économie et de l'Innovation (MEI) démontre que plus de 50% des entreprises manufacturières québécoises considèrent que leur numérisation aura un impact important sur leurs activités au cours des trois prochaines années, la quasi-totalité d'entre-elles (85%) démontrant un intérêt plus ou moins marqué pour au moins une technologie 3.0. ou 4.0., *dont 55% pour la robotique industrielle*.

Si la robotisation et plus largement, la modernisation technologique des entreprises manufacturières québécoises continuera donc de s'accélérer à nouveau au cours des prochaines années, *le rythme de croissance des acquisitions/installations de robots par le secteur québécois de la fabrication a carrément été, entre 2014 et 2019, le plus rapide parmi les pays étudiés, supérieur même à celui de la Chine. Entre le creux de 2014 et le sommet de 2019, le nombre de robots installés annuellement par le manufacturier québécois s'est accru de 275% (169 à 633)*, ce qui a permis au Québec d'effectuer un certain rattrapage face à l'Ontario, au Canada et aux autres économies avancées, dont le nombre d'installations annuelles a progressé beaucoup plus lentement. Tel que souligné en introduction, cette accélération du rythme de robotisation du secteur manufacturier québécois s'explique en partie par le retard important qui avait été accumulé jusqu'au tournant des années 2010, puis est bien illustré par la croissance fulgurante des importations québécoises de robots depuis la deuxième moitié des années 2000. *D'un plancher de 7,5% en 2014, le Québec manufacturier a ainsi atteint 20% des installations totales de robots du secteur canadien de la fabrication en 2019, rejoignant ainsi le poids économique du Québec au sein du Canada*.

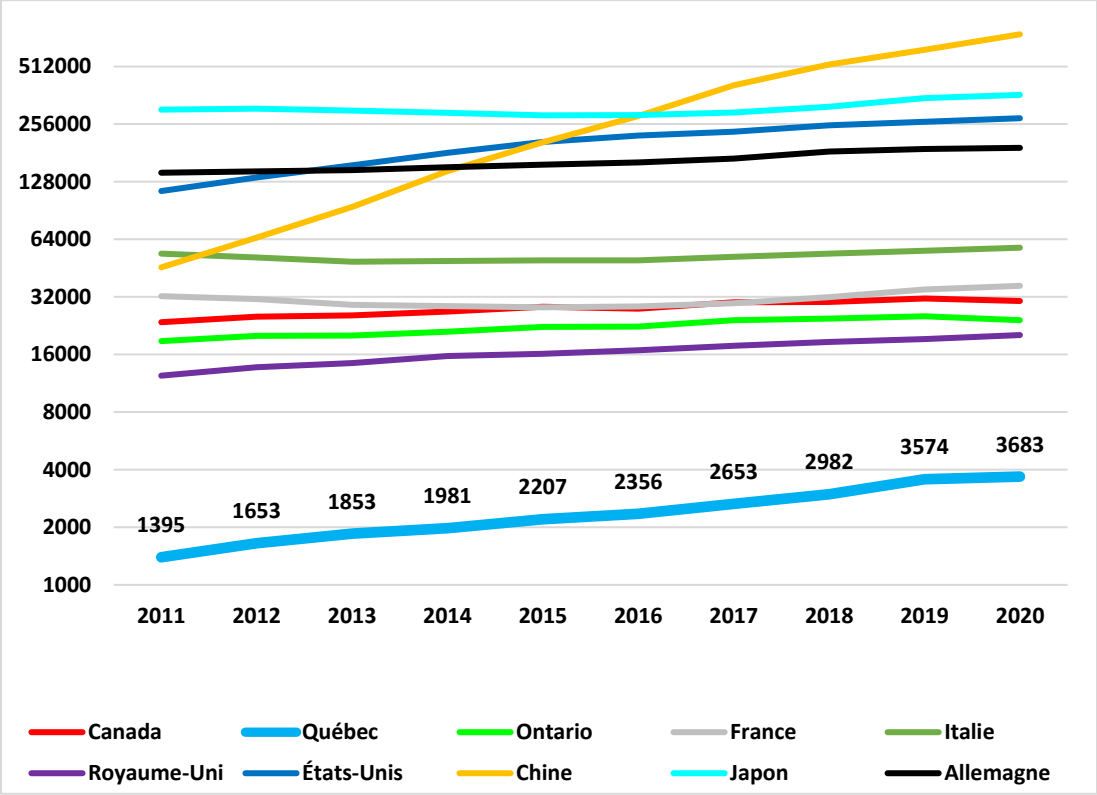
Évidemment, le Québec demeurant une économie de petite taille en comparaison des économies industrielles avancées ou même de l'Ontario, le *nombre de robots en opération* dans son secteur manufacturier, bien qu'en forte croissance, demeure très largement inférieur à ce que l'on observe ailleurs. Entre 2011 et 2020 en effet, nous estimons que ce stock de robots en opération – qui ne représente pas que la simple addition des installations annuelles mais prend en compte la durée de vie utile (établie à 12 ans par l'IFR et aux fins de ce rapport) des robots préalablement installés – est passé d'un peu moins de 1400 à près de 3700 au Québec, contre de 18 800 à 24 205 dans le cas de l'Ontario et de 23 614 à 30 437 dans le cas du Canada. Ces deux derniers, en termes absolus, ne surpassaient en 2020, parmi les pays étudiés, que le Royaume-Uni alors que leur stock de robots demeurait inférieur à ceux de la France ou de l'Italie, et largement en-deçà de ceux de l'Allemagne, des États-Unis, du Japon ou de la Chine. Ces ordres de grandeur ne demeurent toutefois que des estimations et, en raison des écarts importants entre les juridictions, se prêtent mal au jeu des comparaisons. Il existe deux manières de surmonter ce problème : la première consiste à établir le *taux de croissance* de ce stock à partir d'une année de référence fixe pour tous les pays; la seconde, à convertir ce nombre absolu en mesure relative par le calcul de la *densité robotique* (robots/10,000 employés du secteur manufacturier).

L'évolution comparée des stocks de robots par juridiction montre effectivement que trois d'entre-elles se sont démarquées au cours de la décennie 2010 : la Chine, les États-Unis et…le Québec. Partout ailleurs, comme le rythme de croissance des installations annuelles le montrait déjà, la progression des stocks robotiques du secteur manufacturier a été, entre 2011 et 2020, relativement modeste : de 63% au Royaume-Uni (qui a également un important rattrapage à effectuer en cette matière), 35% en Allemagne, un peu moins de 30% en Ontario et au Canada, 20% au Japon, 13% en France, et seulement de 7% en Italie. Aux États-Unis en revanche, à la faveur de la montée des tensions compétitives avec la Chine, de la mise en place de stratégies industrielles agressives sous

les administrations Obama et Trump, puis de la robotisation en forte croissance des secteurs agroalimentaire, pharmaceutique et électronique (IFR Statistical Department, 2021 : 145), la croissance du stock de robots en opération depuis 2011 a été de 140%.

La progression a toutefois été encore plus rapide au Québec, soit de 164% sur la même période. L'avènement tardif de la robotisation du manufacturier québécois (et donc la proportion plus faible de robots en arrivant à la fin de leur vie utile), de même que la forte croissance des installations au cours des dix dernières années, expliquent cette performance supérieure. Tant les États-Unis que le Québec sont néanmoins écrasés par la Chine et la croissance de plus de 1500% de son stock de robots manufacturiers, qui a explosé grâce à la modernisation industrielle accélérée, à l'afflux massif d'investissements étrangers, puis aux politiques dirigistes du type *Made in China 2025* et aux subventions afférentes.

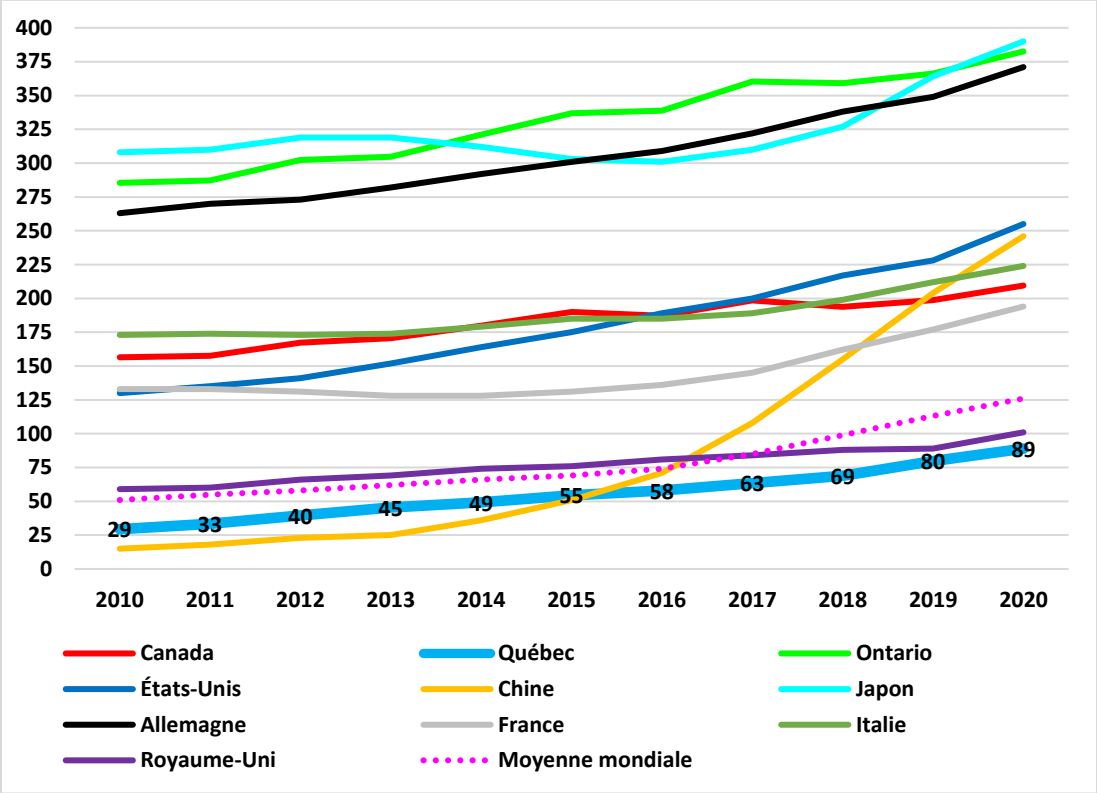
Graphique 25. Stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur manufacturier (ISIC 10-33), échelle logarithmique[36]



L'indicateur comparatif le plus intéressant, en ce qu'il offre une perspective non pas seulement sur le *rythme* mais également sur le *degré* d'automatisation des secteurs manufacturiers nationaux, est toutefois certainement celui de la densité robotique. Cette mesure est traditionnellement exprimée sur la base du *nombre de robots industriels en opération par tranche de 10 000 employés* du secteur manufacturier, et permet donc une comparaison *relative* entre les juridictions. Même cet indicateur n'est cependant pas parfait puisqu'évidemment, tant le niveau absolu de cette densité que sa

croissance/décroissance dans le temps peuvent être influencés notamment par la concentration géographique de certaines industries à plus ou moins haute intensité technologique, ou alors par les fluctuations, à la hausse ou à la baisse, du bassin de main d'œuvre du secteur manufacturier pour chacun des pays étudiés. Malgré ces quelques limites, le calcul de la densité robotique du secteur manufacturier (et de ses différents sous-secteurs) demeure fort utile car il permet de relativiser certains des constats qui, sur la seule base des installations ou des stocks cumulatifs de robots, peuvent se révéler trompeurs. Par exemple, on peut remarquer que malgré sa modernisation rapide, le gigantesque secteur manufacturier chinois demeure loin d'être aussi robotisé (246 robots/10,000 employés) que ceux de l'Allemagne (371/10,000) ou du Japon (390), se retrouvant plutôt à un niveau comparable aux manufacturiers américains (255).

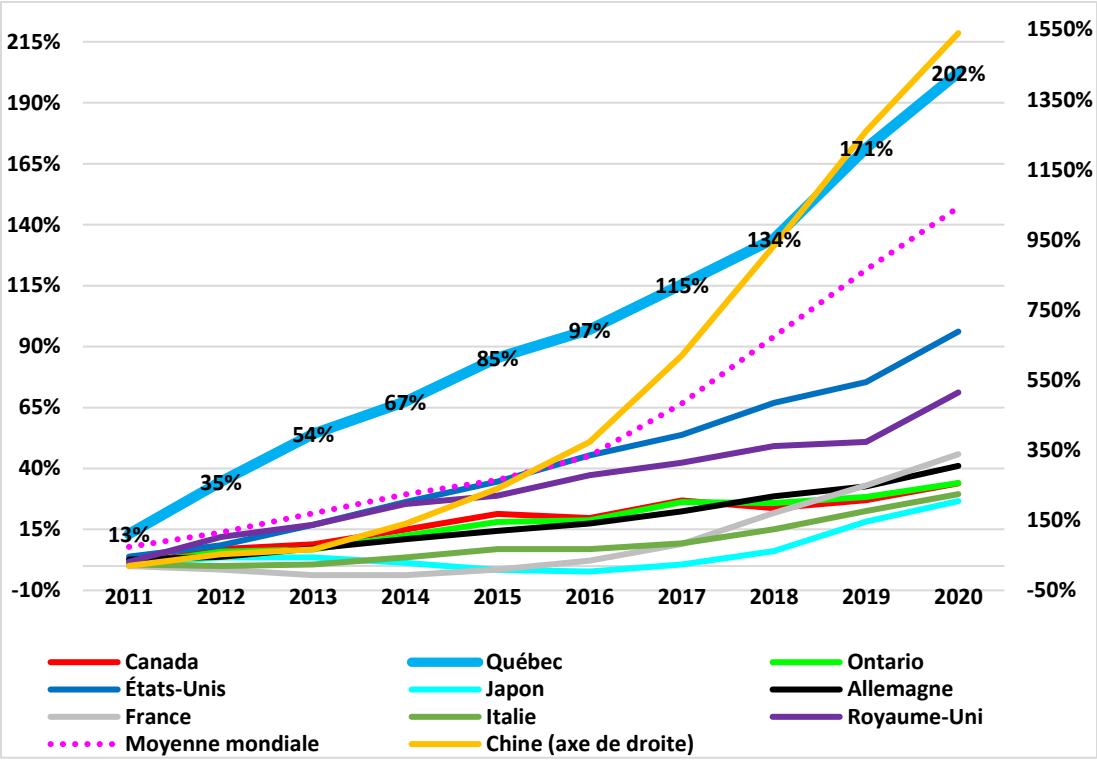
Graphique 26. Densité robotique du secteur manufacturier par pays (robots opérationnels/10,000 employés)[37]



Cette mesure permet surtout de situer le Québec manufacturier par rapport à ses principaux partenaires et concurrents. On note en effet de ce point de vue que, *malgré les progrès importants des dernières années, le secteur manufacturier québécois affiche encore aujourd'hui une densité robotique relativement faible (89 robots/10,000 employés), inférieure même à la moyenne mondiale (126) et se situant juste en-deçà de celle du Royaume-Uni (101)*. La France (194) et l'Italie (224), qui ont toutefois vu leur bassin d'emplois manufacturier stagner ou décliner légèrement au cours des années 2010 alors que celui du Québec augmentait, demeurent également largement au-dessus de ce dernier, tout comme l'Ontario qui, à 383 robots/10,000 employés, trône

au-dessus de l'Allemagne (371) et près du Japon (390) mais demeure bien en-deçà des niveaux atteints en Corée du Sud (932) ou à Singapour (605), par exemple. Comme nous le verrons toutefois à l'instant, la performance ontarienne est significativement (et donc en partie artificiellement) gonflée par la très forte concentration de l'industrie automobile sur son territoire et par le fait que, mesurée ainsi à l'échelle d'une province, sa densité robotique est moins diluée par la variété des secteurs que l'on retrouve normalement à l'échelle de pays comme le Japon, l'Allemagne, les États-Unis ou le Canada dans son ensemble.

Graphique 27. Croissance cumulative 2011-2020 de la densité robotique du secteur manufacturier, par pays (année de référence = 2010)[38]



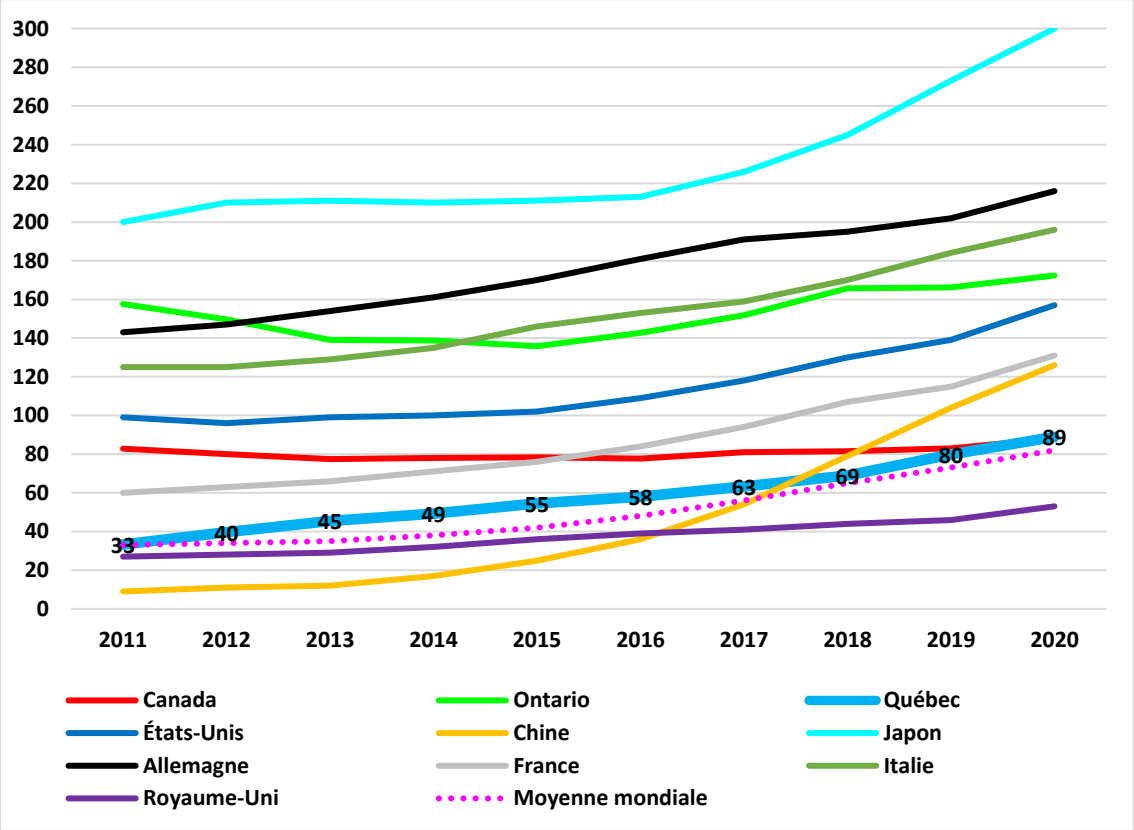
Bien que le retard du Québec à cet égard demeure significatif et soit, à bien des égards, problématique, il est possible et utile de le relativiser quelque peu également. *D'abord, s'il est vrai qu'en comparaison de grandes puissances industrielles et économiques telles que celles que nous avons retenues pour analyse, le Québec accuse un retard important, il faut bien voir également qu'à 89 robots/10,000 employés, le manufacturier québécois demeure largement plus automatisé que celui de l'Australie (73), de la Norvège (67), d'Israël (59), de la Nouvelle-Zélande (52) ou de l'Irlande (50), pour ne donner que quelques exemples parmi les économies avancées (IFR, 2021 : 74).*

Deuxièmement, *si la densité robotique du manufacturier québécois demeure relativement faible, sa croissance cumulative a, au cours des années 2010, été phénoménale et largement supérieure à celle des autres économies recensées, à l'exception de la Chine*. Malgré la légère croissance du

bassin d'emplois du secteur manufacturier en effet, la croissance rapide de son stock de robots industriels au cours des années 2010 en a augmenté la densité robotique très significativement, soit de 202% entre 2010 et 2020. Si cette tendance se maintient entre 2020 et 2030, le Québec pourrait y rattraper en bonne partie son retard puisqu'en comparaison, la densité robotique de ses partenaires et concurrents n'a crût que de 29% (Japon) à 96% (États-Unis) entre 2010 et 2020 – de 34% en Ontario et au Canada. Une croissance de 202% entre 2020 et 2030 ferait passer la densité robotique manufacturière du Québec à 269/10,000, alors qu'une répétition de leur croissance respective de 46%, 34% et 147% ferait par exemple passer celle de la France à 283/10,000, celle du Canada à 280/10,000 (en incluant le secteur automobile), puis la moyenne mondiale à 311/10,000.

Il est d'ailleurs enfin un dernier élément fondamental qu'il convient de rappeler ici et qui permet de relativiser également en partie le retard du Québec. Comme le Chapitre 2 du présent rapport le montre bien, il faut effectivement garder en tête que *les pays qui performent le mieux en termes de densité robotique manufacturière sont pour la plupart de grandes puissances de l'industrie automobile* : Corée du Sud, Japon, Allemagne, États-Unis, Canada/Ontario, Chine, France et dans une moindre mesure, Italie et Royaume-Uni. Cela s'explique aisément, car l'industrie automobile est de loin la plus automatisée parmi les différents secteurs manufacturiers, ayant pris le virage de la robotisation bien avant les autres pour une foule de raisons.

Graphique 28. Densité robotique du secteur manufacturier *excluant l'automobile* (robots opérationnels/10,000 employés)[39]



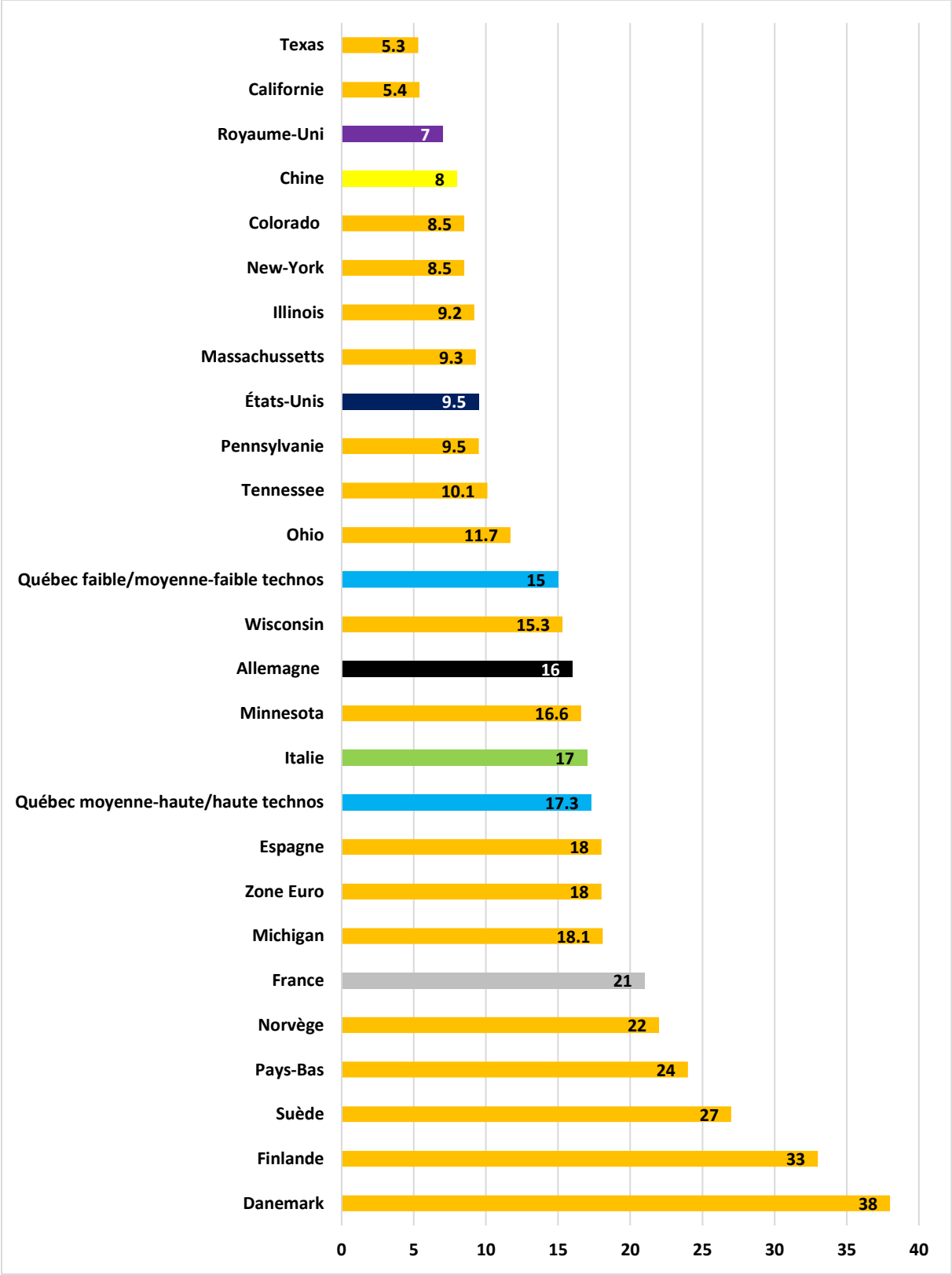
Ainsi, comme le fait notamment l'IFR, il est approprié de comparer également la densité robotique des secteurs manufacturiers nationaux *en excluant de l'équation l'industrie automobile*. Un portrait bien différent de la situation apparaît alors : le Japon (300 robots/10,000 employés) et l'Allemagne (216) demeurent au sommet des industries les plus robotisées, mais l'Italie (196) s'y hisse également. L'Ontario, à 172, redescend à un niveau comparable à celui des États-Unis (157) et à 89 robots/10,000 employés, le manufacturier québécois[40] surpasse désormais le niveau atteint par le secteur canadien de la fabrication (88) et distance le Royaume-Uni (53) comme, d'ailleurs, la moyenne mondiale (82) ou des économies avancées sans secteur automobile, telles que l'Australie et la Nouvelle-Zélande, la Norvège, le Portugal, la République tchèque ou l'Irlande. Le Québec n'est même, selon cette mesure, plus très loin de la Chine (126 robots/10,000 employés).

On dit qu'il est possible de faire dire aux chiffres ce que l'on veut, mais cela n'est vrai que parce que justement, les chiffres peuvent exprimer bien des choses selon la manière dont on les aborde. Dans le cas de l'utilisation de la robotique par le secteur manufacturier québécois, cela s'observe bien car, selon que l'on s'attarde aux installations annuelles de robots, aux stocks de robots opérationnels, à la densité robotique du secteur, au rythme de croissance de chacun de ces indicateurs ou à leur équivalent *excluant* le secteur automobile, des conclusions différentes s'imposent. Si on devait résumer et rassembler ces différentes perspectives, on pourrait dire que *le Québec manufacturier : a) a accumulé un retard important en matière de robotisation jusqu'au milieu des années 2000; b) est en voie de rattraper ce retard grâce à une robotisation accélérée depuis le milieu des années 2010; c) atteint aujourd'hui un degré de robotisation égal ou supérieur à celui du Canada sans l'automobile, ou à celui des secteurs manufacturiers de bon nombre d'économies avancées qui, comme le Québec, ne comprennent pas d'industrie automobile majeure.*

Une dernière mesure du niveau de robotisation manufacturière permet également de situer le Québec par rapport à d'autres États. Certaines bases de données, dont celles de l'ISQ, du *United States Census Bureau* et d'*Eurostat* compilent en effet des statistiques sur la proportion des entreprises manufacturières qui utilise un ou des robots industriels. Plusieurs études ont également mis de l'avant, au cours des dernières années, une telle mesure pour le Québec (les résultats varient toutefois de manière assez importante d'une étude à l'autre, en fonction des méthodologies et des populations étudiées); nous leur préférons ici les données de l'ISQ car elles reposent sur un échantillon d'entreprises plus important, mais aussi parce qu'elles permettent de distinguer entre le manufacturier de faible et de haute technologie.

Sur la base de cet indicateur, on observe que le Québec manufacturier est en fait en milieu de peloton : *entre 15% (secteurs de faible/moyenne-faible technologie) et 17% (secteurs de moyenne-haute/haute technologie) des entreprises manufacturières québécoises utilisaient la robotique en date de 2020, contre de 5% à 18% des manufacturiers américains selon les États (2018) et 18% des manufacturiers de la Zone Euro en moyenne (2020)*. La France, les Pays-Bas et les pays européens nordiques sont toutefois largement en avance sur le manufacturier québécois, le Danemark et la Finlande étant dans une classe à part (2020).

Graphique 29. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilisent la robotique industrielle, par pays/État (2016-2020)[41]

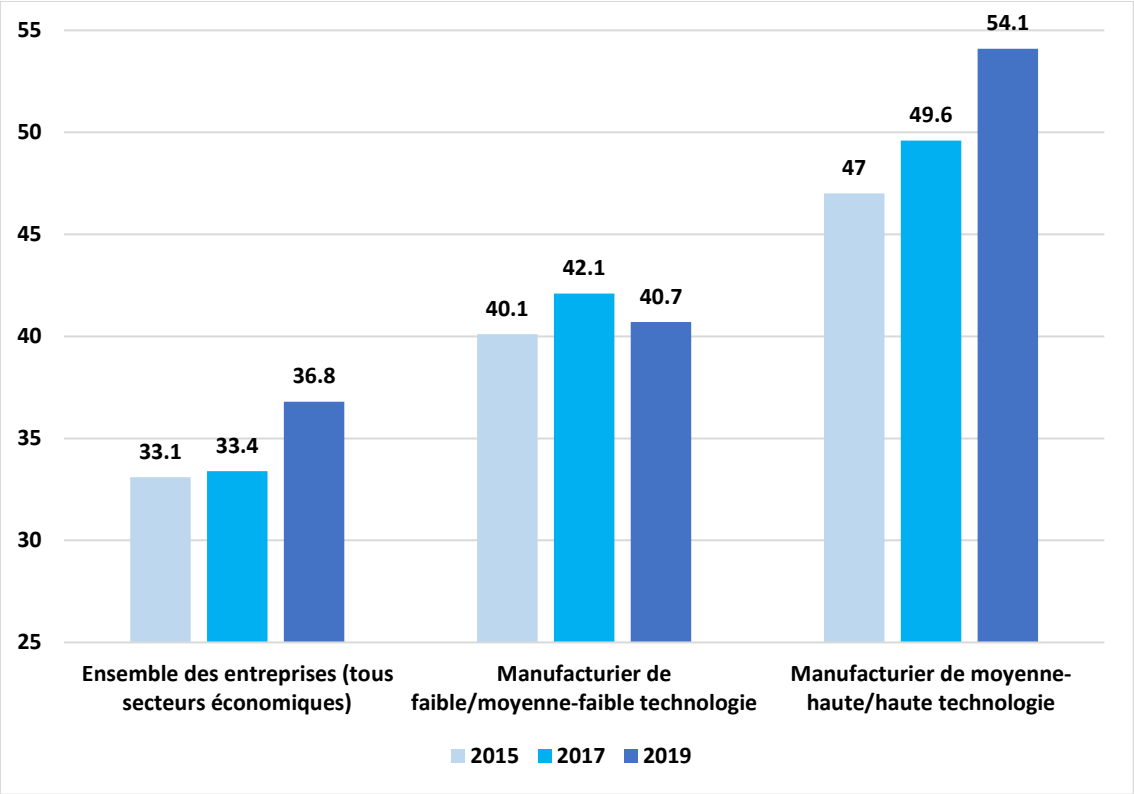


Il peut paraître surprenant, de prime abord, que la proportion d'entreprises manufacturières québécoises utilisant la robotique industrielle se révèle plus importante qu'aux États-Unis et à parité avec des pays comme l'Allemagne ou l'Italie, alors même que ces trois pays font montre d'une densité robotique manufacturière bien supérieure à celle du Québec. De même, on peut remarquer qu'un pays comme la Norvège, dont la densité robotique manufacturière est pourtant inférieure à celle du Québec, surpasse ce dernier sur la base de la proportion d'entreprises utilisant la robotique. Il peut y avoir à ces phénomènes plusieurs explications et il serait au-delà du mandat de cette étude de les établir avec précision. Toutefois, il est vraisemblable que cela soit dû en partie à la démographie particulière du secteur manufacturier québécois. Étant composé dans une très large proportion de TPE et de PME, il est possible que la part des entreprises utilisant la robotique à une échelle plus modeste (1 ou 2 systèmes robotiques) soit légèrement plus élevée que dans certaines juridictions où, comme aux États-Unis ou en Allemagne, un nombre plus restreint de moyennes, de grandes ou de très grandes entreprises concentrent un plus grand nombre de robots en leur sein. La même explication s'applique d'ailleurs fort probablement dans une certaine mesure aux pays nordiques et scandinaves, bien que la densité robotique manufacturière respective de la Suède et du Danemark soit également parmi les plus élevées du monde.

1.2.2. Utilisation des technologies 3.0. et 4.0.

Les mêmes banques de données permettant d'évaluer cette utilisation relative de la robotique industrielle par les entreprises manufacturières de différents États nous ont également permis de situer le secteur québécois de la fabrication face à ses principaux partenaires et concurrents sur une foule d'indicateurs supplémentaires de maturité technologique. Il est important de procéder à ces comparaisons supplémentaires car effectivement, *la modernisation technologique des entreprises et les processus d'automatisation/numérisation sont loin de se limiter à l'enjeu de la robotisation*. Comme le fait valoir avec justesse le dernier *Baromètre industriel québécois* (STIQ, 2022 : 20), « avoir des robots dans une usine tout en planifiant la production avec des bons de travail papier créés avec un chiffrier électronique ne peut être décrit comme une usine 4.0. Une entreprise qui se transforme numériquement intègre différentes technologies, systèmes d'information et applications de l'industrie 4.0. ». Comme le souligne d'ailleurs ce *Baromètre* (STIQ, 2022 : 19), l'investissement des entreprises en acquisition/intégration de technologies numériques est l'un des principaux moteurs de leur croissance, que ce soit en termes de chiffre d'affaires ou de pénétration des marchés. Une entreprise qui investit par exemple 2% ou plus de son chiffre d'affaires en technologies numériques annuellement est largement plus susceptible que les autres de connaître une croissance de plus de 5% de ce chiffre d'affaires et/ou de sa liste de paie, puis d'exporter une partie de sa production.

Graphique 30. Part (%) des entreprises ayant effectué des dépenses pour l'acquisition ou le développement de technologies de l'information et des communications, Québec 2015-2019[42]



Toujours selon le STIQ (2022 : 18), *environ 48% des entreprises manufacturières québécoises ont, en 2021, investi plus de 1% de leur chiffre d'affaires en achat/intégration de technologies numériques, contre 41% en 2020, 46% en 2019 et 48% en 2018*. Ces données correspondent, grosso-modo, à ce que l'enquête de l'ISQ (dont la population d'entreprises étudiées est beaucoup plus grande) a observé pour ls seconde moitié des années 2010 : selon les données de l'ISQ en effet, *entre 41% (secteurs de faible/moyenne-faible technologie) et 54% (secteurs de moyenne-haute/haute technologie) des entreprises manufacturières québécoises ont, en 2019, effectué des dépenses pour l'acquisition ou le développement de technologies de l'information et des communications*, contre seulement 37% environ de l'ensemble des entreprises québécoises, tous secteurs confondus – cette dernière proportion variant cependant de manière importante selon la taille des entreprises, de 30% chez les TPE de 1 à 4 employés jusqu'à 83% chez les grandes entreprises de 250 employés et plus[43]. Il est intéressant (et encourageant) de noter également à cet égard que, en particulier dans le cas des entreprises des secteurs manufacturiers de moyenne-haute et de haute technologie, cette proportion est en forte croissance depuis 2015. Il semble donc que *les entreprises manufacturières québécoises investissent davantage en TIC que celles des autres secteurs économiques*, et qu'elles soient de plus en plus nombreuses à le faire.

Par ailleurs, la même enquête de l'ISQ s'attarde également à la question de la *formation numérique des employés en entreprise*, essentielle à une intégration réussie et à une utilisation optimale de ces technologies. Les données recueillies montrent qu'un peu plus du quart des entreprises manufacturières des secteurs de moyenne-haute/haute technologie ont offert de telles formations en 2019, une proportion en forte hausse depuis 2015 (19,7%). Pour les secteurs de faible et de moyenne-faible technologie, cette proportion tombe à environ 15,4% en 2019, une hausse de plus de cinq points de pourcentage depuis 2015 (9,7%). Ici encore, les entreprises manufacturières semblent largement plus nombreuses à former leurs employés aux TIC, alors que pour l'ensemble des secteurs économiques, les entreprises québécoises n'étaient en 2019 que 10,8% à le faire, une faible hausse de deux points de pourcentage par rapport à 2015 (8,8%). Tout comme dans le cas de l'acquisition/intégration des technologies elles-mêmes, par ailleurs, *l'offre de formation technologique varie fortement en fonction de la taille des entreprises* : pour tous les secteurs économiques confondus, la proportion d'entre-elles offrant de la formation variait, pour 2019, de 5.7% chez les TPE de 1 à 4 employés jusqu'à 68,6% chez les grandes entreprises de 250 employés ou plus.

Ces constats ont d'ailleurs été confirmés par d'autres enquêtes réalisées au cours des dernières années, qui montrent notamment que, malgré un intérêt somme toute assez marqué pour ces technologies, en particulier depuis l'avènement de la crise sanitaire en 2020, les entreprises manufacturières québécoises sont peu nombreuses (moins de 20%) à réaliser des audits numériques pour mieux identifier leurs besoins en ces matières, puis investissent relativement peu dans ces technologies ou dans l'amélioration des compétences numériques de leurs employés (Léger 2022). Considérant l'importance des technologies numériques et des TIC – selon le STIQ (2022 : 24), leur adoption a un impact majeur sur la croissance des activités et du chiffre d'affaire, l'élargissement

de la clientèle et la pénétration des marchés internationaux – *il peut apparaître surprenant qu'une minorité seulement des entreprises manufacturières, dans l'ensemble, investisse dans l'acquisition/intégration de ces technologies et qu'une minorité encore plus faible offre à ses employés les formations nécessaires à leur utilisation efficace*. Il y a à cela un grand nombre de raisons possibles, dont plusieurs ont été identifiées dans le cadre de ces études récentes : absence de ressources internes spécialisées ou déficit de connaissances sur ces technologies, incapacité à identifier ou à bien cerner les besoins technologiques de l'entreprise et les solutions appropriées, coût prohibitif des technologies et/ou accès insuffisant au financement, difficultés à évaluer les retombées et avantages potentiels de la modernisation technologique, simple manque de temps, etc.

Nous avons pour notre part, aux fins de la présente analyse, rassemblé les données de Statistique Canada tirées de l'*Enquête sur l'innovation et les stratégies d'entreprises*, dont les résultats pour 2019 ont été publiés en 2021. Ces données ont trois avantages principaux, comparativement à celles des études précitées de STIQ ou de Léger : d'abord, elles couvrent une population importante (14 985 entreprises avec stratification proportionnelle par secteur industriel et par région – Atlantique, Québec, Ontario, reste du Canada)[44], mais surtout, elles sont pancanadiennes et permettent donc de comparer le Québec à l'Ontario et au Canada dans son ensemble, puis elles portent sur l'ensemble des technologies d'automatisation et de numérisation 3.0./4.0. (technologies de pointe et émergentes), plutôt que sur les seules TIC ou technologies numériques. Ces données de Statistique Canada ont enfin l'avantage d'être tirées de la même enquête dont nous utilisons certains des résultats, tout au long du présent rapport, en ce qui concerne l'utilisation des technologies 3.0. et 4.0. par les différents *sous-secteurs* manufacturiers québécois, ontarien et canadien. Cela nous permet d'assurer une cohérence plus grande entre les comparatifs utilisés, que ce soit par thème ou par juridiction.

Tel qu'en fait foi le graphique recensant les raisons principales pour lesquelles les entreprises manufacturières[vii] n'utilisent pas de technologies de pointe/3.0.[viii] ou émergentes/4.0.[ix], il semble en fait que la réticence principale soit fort simple : *un grand nombre de manufacturiers considère tout bonnement que ces technologies ne leur seraient pas utiles*. En effet, plus de 38% des manufacturiers québécois (35% en Ontario, 33% au Canada) croient ces investissements « non nécessaires aux activités poursuivies » et près de 28% (33% en Ontario, 32% au Canada) sont de l'opinion que ces technologies « ne s'appliquent pas aux activités » de leur entreprise. À cela, on peut également ajouter que 18% des manufacturiers québécois (24% en Ontario, 23% au Canada) ne sont pas « convaincus des avantages économiques » qui découleraient d'une implantation de ces

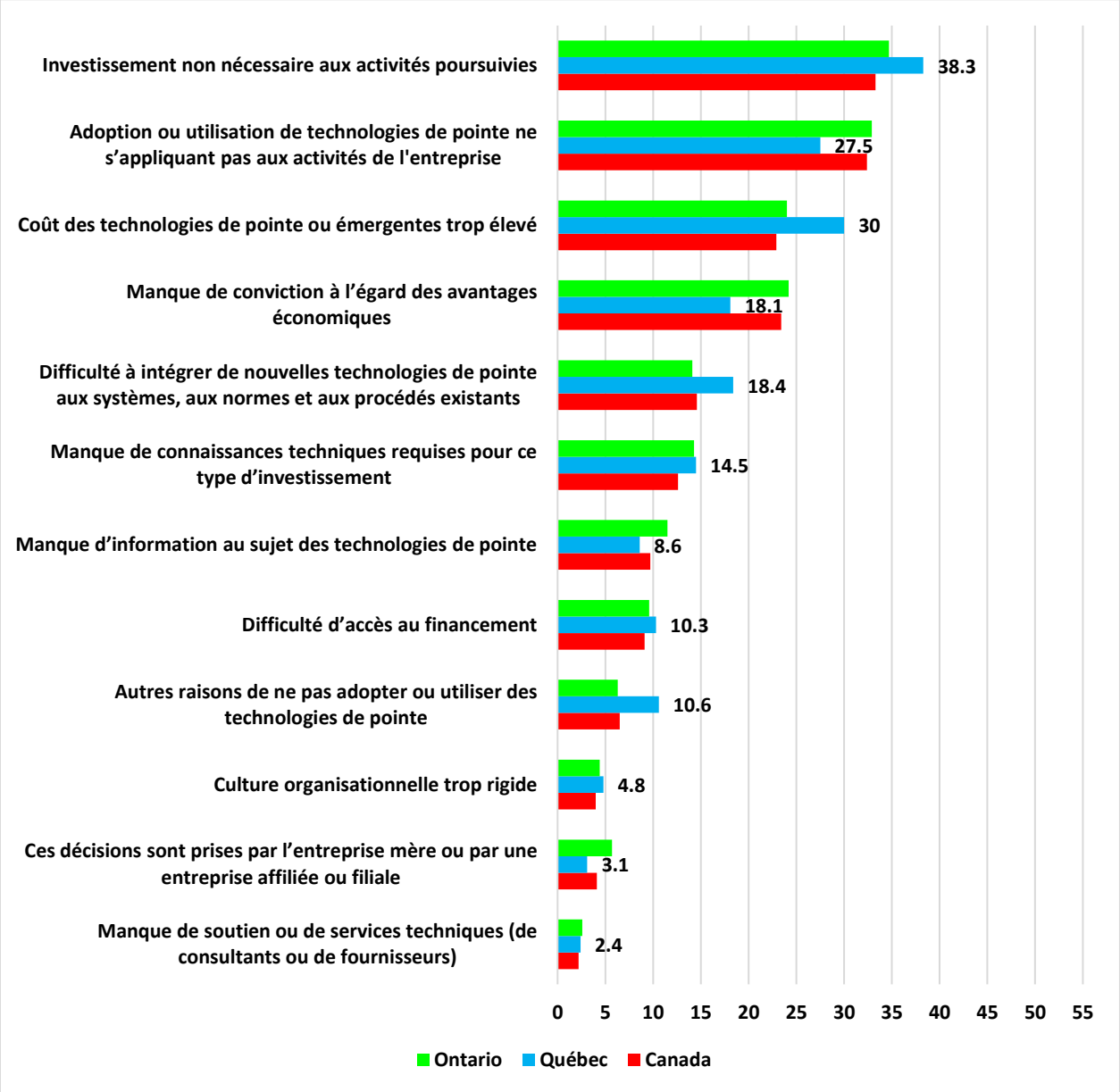
[vii] Les données sont pour 2019 et pour les entreprises de 20 employés ou de 250 000$ de chiffres d'affaires et plus.

[viii] Robotique et autres technologies/logiciels d'automatisation de gestion des chaînes d'approvisionnement, de logistique, de manutention, de conception, de traitement/fabrication, de gestion de l'information, de veille stratégique ou de sécurité.

[ix] Impression 3D, intelligence artificielle, Internet des objets, analyses des données massives, réalité virtuelle, nanotechnologies, biotechnologies, chaines de blocs, technologies géomatiques et géospatiales. *Les technologies propres sont classées parmi les technologies de pointe par Statistique Canada, mais nous les incluons plutôt, pour notre part, dans l'ensemble des technologies 4.0.

technologies. Beaucoup d'entreprises manufacturières, en somme, et ce tant au Québec qu'ailleurs au pays, n'investissent donc pas ou n'investissent que très peu dans leur modernisation technologique tout simplement parce qu'elles ne le considèrent pas nécessaire, pertinent ou rentable.

Graphique 31. Raisons (% des répondants) pour lesquelles les entreprises manufacturières n'utilisent pas de technologies de pointe et/ou émergentes (2019)[45]



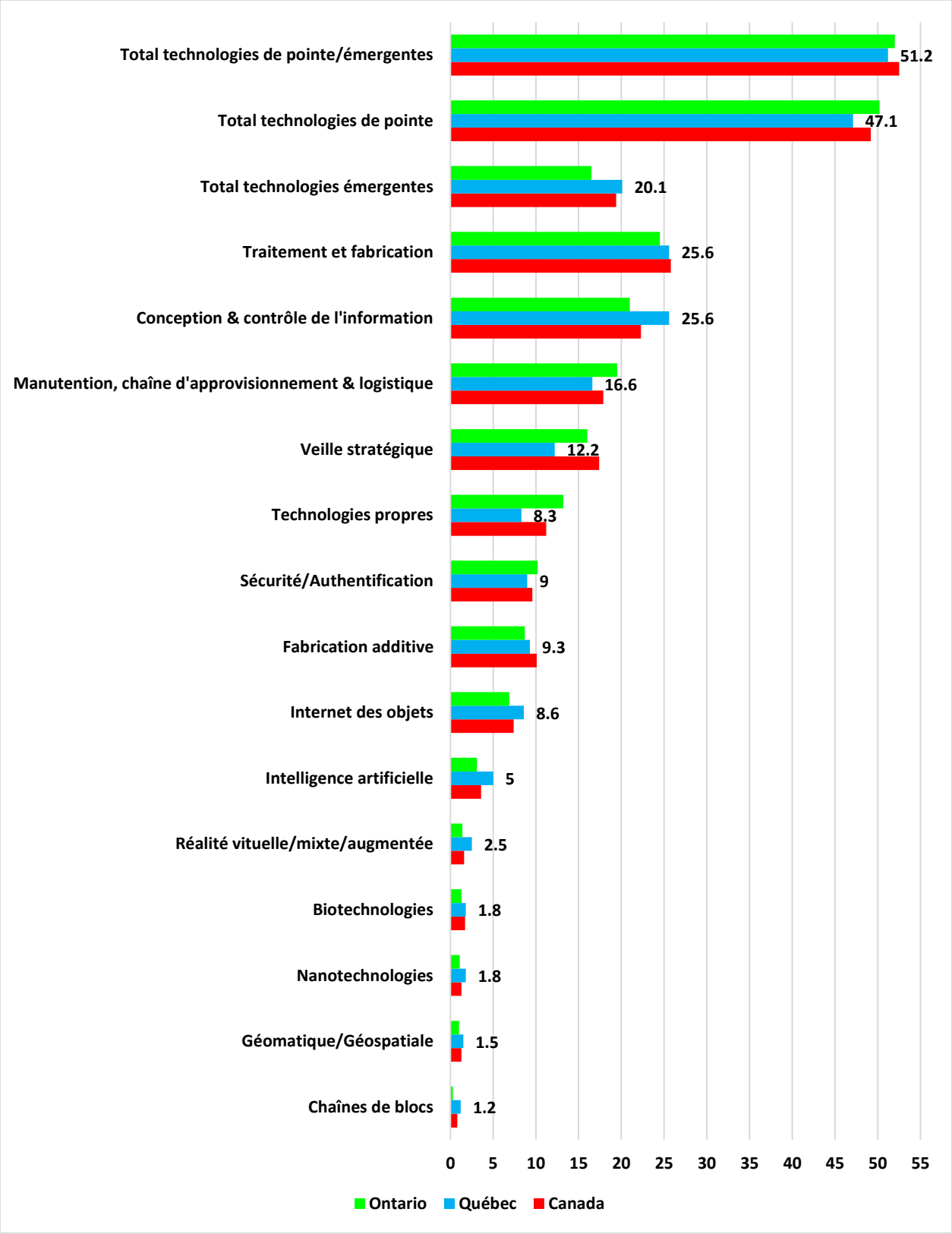
Un deuxième ensemble de raisons pour lesquelles les entreprises manufacturières n'adoptent pas les technologies 3.0./4.0. renvoie également à des questions afférentes à l'enjeu de la rentabilité : ainsi, pas moins de 30% des manufacturiers québécois (24% en Ontario et 23% au Canada) sont *rebutés ou découragés par les coûts liés à l'adoption de ces technologies*, qu'ils considèrent trop

élevés. Cela est probablement dû en bonne partie, effectivement, aux prix à l'acquisition et aux dépenses liées à l'intégration de ces technologies et systèmes, qui dans les deux cas et surtout additionnés les uns aux autres peuvent effectivement se révéler prohibitifs, en particulier pour les PME – tel que souligné en introduction par exemple, le seul coût à l'acquisition d'un robot industriel a régressé énormément depuis un vingtaine d'années mais s'élevait toujours, au cours des dernières années, entre les 30 000 $ et les 50 000 $, auxquels les coûts d'installation, de programmation, de formation et autres s'ajoutent et peuvent faire grimper la facture au-dessus des 100 000 $, voire des 200 000 $. Néanmoins, cet état de fait est possiblement, pour une autre part, également dû aux *difficultés d'accès au financement* que disent éprouver un peu plus de 10% des entreprises manufacturières québécoises (contre tout juste en deçà de 10% en Ontario et au Canada) et qui persistent donc, tout en s'amenuisant, malgré les nombreux programmes publics de soutien à la modernisation technologique mis en place au cours des dix dernières années.

Enfin, une troisième série d'obstacles, qui explique probablement en partie les doutes entretenus sur l'utilité ou la rentabilité des technologies 3.0./4.0., refroidit une part non-négligeable des manufacturiers québécois et canadiens en ce qui concerne leur modernisation technologique. En effet, *18% des manufacturiers québécois (14% en Ontario, 15% au Canada) craignent d'avoir des* « *difficultés à intégrer de nouvelles technologies de pointe aux systèmes, aux normes et aux procédés existants* ». Bien que ces craintes puissent être fondées, l'intégration de nouvelles technologies demeurant un défi pour n'importe quelle entreprise et pour les PME en particulier, qui n'ont pas toujours un département ou une équipe dédiée à la gestion de ce type de transition, elles relèvent probablement dans bien des cas aussi, ce que l'étude de Statistique Canada tend à démontrer, d'un *déficit au niveau des connaissances techniques requises* (14,5% des manufacturiers québécois; 14% en Ontario, 13% au Canada) ou d'un simple *manque d'information général au sujet de ces technologies* (9% au Québec, 12% en Ontario, 10% au Canada).

Malgré ces freins à la modernisation technologique, évidemment, une part substantielle des entreprises manufacturières québécoises a déjà, au cours des dernières années, opéré la transition au 3.0./4.0. bien que, selon l'enquête de STIQ (2022 : 22), *les progrès observés au cours des années 2010 aient été significativement ralentis, voire stoppés depuis l'avènement de la crise sanitaire*. Par rapport à 2019 ainsi, la proportion d'entreprises manufacturières qui avait, au Québec, intégré une ou plusieurs technologies 3.0./4.0. est demeurée inchangée (à environ 48%) et les *écarts en cette matière entre les TPE, les PME et les grandes entreprises* ne se sont pas rétrécis, les PME de 10-19 employés demeurant par exemple presque deux fois plus nombreuses (64%) à n'en avoir toujours pas intégré que les grandes entreprises de 100 employés et plus (36%). Ces constats ont été reproduits assez fidèlement par l'étude de Léger (2022), qui a établi pour sa part à entre 13% (intelligence artificielle) et 47% (infonuagique) la proportion d'entreprises manufacturières québécoises utilisant, en date de l'automne 2021, différentes technologies 3.0./4.0. Bien que ces données récentes méritent d'être consultées en parallèle, nous leur préférons, pour les raisons précédemment évoquées, celles de l'ISQ et de Statistique Canada, qui sont particulièrement détaillées et permettent des comparaisons à l'échelle canadienne et internationale.

Graphique 32. Part (%) des entreprises manufacturières utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes (2019)[46]



Sur un plan général, d'abord, on peut noter que, sans surprise, l'utilisation des technologies 3.0. (technologies plus « traditionnelles » d'automatisation/numérisation) est encore largement plus répandue que l'usage des technologies « émergentes »/4.0., et ce tant chez les manufacturiers québécois qu'ailleurs au Canada. *Si le Québec accuse un très léger retard sur le 3.0. (47% des manufacturiers québécois utilisaient l'une de ces technologies en date de 2019 contre 49% au Canada et 50% en Ontario), il semble à l'inverse afficher une petite avance quant à l'adoption des technologies 4.0.* Ainsi, un peu plus de 20% des entreprises manufacturières québécoises utilisaient une ou plusieurs technologies émergentes en 2019, contre 19% au Canada et 16,5% en Ontario. Ces écarts sont dans tous les cas, cependant, fort ténus et donc pour l'essentiel, à l'intérieur des marges d'erreur pour ce type d'enquête par sondage. Les conclusions à en tirer sont conséquemment peu fiables et il est vraisemblable que, de manière générale, le niveau d'adoption des technologies manufacturières 3.0. et 4.0. ait été en date de 2019, au Québec par rapport à l'Ontario et au reste du Canada, relativement similaire. Quelques écarts potentiellement plus significatifs apparaissent toutefois en ce qui concerne certaines classes et certains types de technologies plus spécifiques.

En ce qui concerne d'abord les technologies de traitement et de fabrication[x], qui sont les plus largement adoptées par les manufacturiers canadiens, il ne semble y avoir aucune différence entre le Québec et le reste du pays : environ le quart des entreprises les utilisent (dont, si on se fie aux données de l'ISQ évoquées plus tôt, environ 15%-17% pour la seule robotique). En revanche, le Québec manufacturier semble faire preuve d'une légère avance en matière d'intégration des technologies de conception et de contrôle de l'information[xi], plus du quart de ses entreprises en utilisant contre 22% au Canada et 21% en Ontario. Les manufacturiers québécois apparaissent toutefois à l'inverse légèrement moins nombreux – ici encore les écarts sont trop faibles pour être significatifs – à utiliser les technologies de manutention, de gestion de l'approvisionnement et de logistique[xii] (17% contre 18% au Canada et 19,5% en Ontario) mais surtout, les outils numériques

[x] Ex : cellules de fabrication flexibles (FMC) ou systèmes de fabrication flexible (FMS); lasers utilisés dans le traitement des matériaux; robots munis de capteurs ou systèmes de vision; robots dépourvus de capteurs ou systèmes de vision; ordinateur (contrôleur) de 4-9 axes à commande numérique; machines automatisées pour le tri, le transport ou l'assemblage de pièces; pulvérisation par plasma (table de découpe au plasma); systèmes de micro-électrique-mécaniques (MEMS). Voir ISQ (2016), *L'utilisation des technologies de pointe dans les entreprises au Québec*, Québec.

[xi] Ex : tableaux de bord pour analyse ou prise de décisions; logiciels de traitement de données à grande échelle; technologies de traitement de flux ou de surveillance en temps réel; logiciels en tant que services (SaaS); infrastructures en tant que services; développement de produits virtuels ou logiciels de modélisation y compris conception assistée par ordinateur (CAO), ingénierie par ordinateur (IAO), fabrication assistée par ordinateur (CAM); progiciels de gestion intégrée; systèmes d'exécution de la fabrication; intégration de résultats de qualité avec des progiciels de gestion et de contrôle; planification des ressources de production (MRP II); réseaux informatiques interentreprises dont extranet et échange électronique des données (EDI); communications sans-fil pour la production; réseau intégré de capteurs; systèmes automatisés pour inspection; systèmes aériens sans pilote (drones). Voir ISQ (2016), *L'utilisation des technologies de pointe dans les entreprises au Québec*, Québec.

[xii] Ex : logiciels de gestion des relations avec les clients; logiciels de prévision/planification de la demande; systèmes de gestion du transport; systèmes de gestion des entrepôts; systèmes de collaboration et de visibilité de la chaîne d'approvisionnement; stockage automatisé et systèmes de récupération; identification automatisée des produits et

de veille stratégique (12% contre 16% en Ontario et 17% au Canada) qui permettent pourtant une intelligence d'affaires plus aiguisée, par l'entremise de la collecte d'informations clefs sur les marchés, la concurrence, les fournisseurs, les différentes clientèles et autres innovations sectorielles ou technologiques pertinentes.

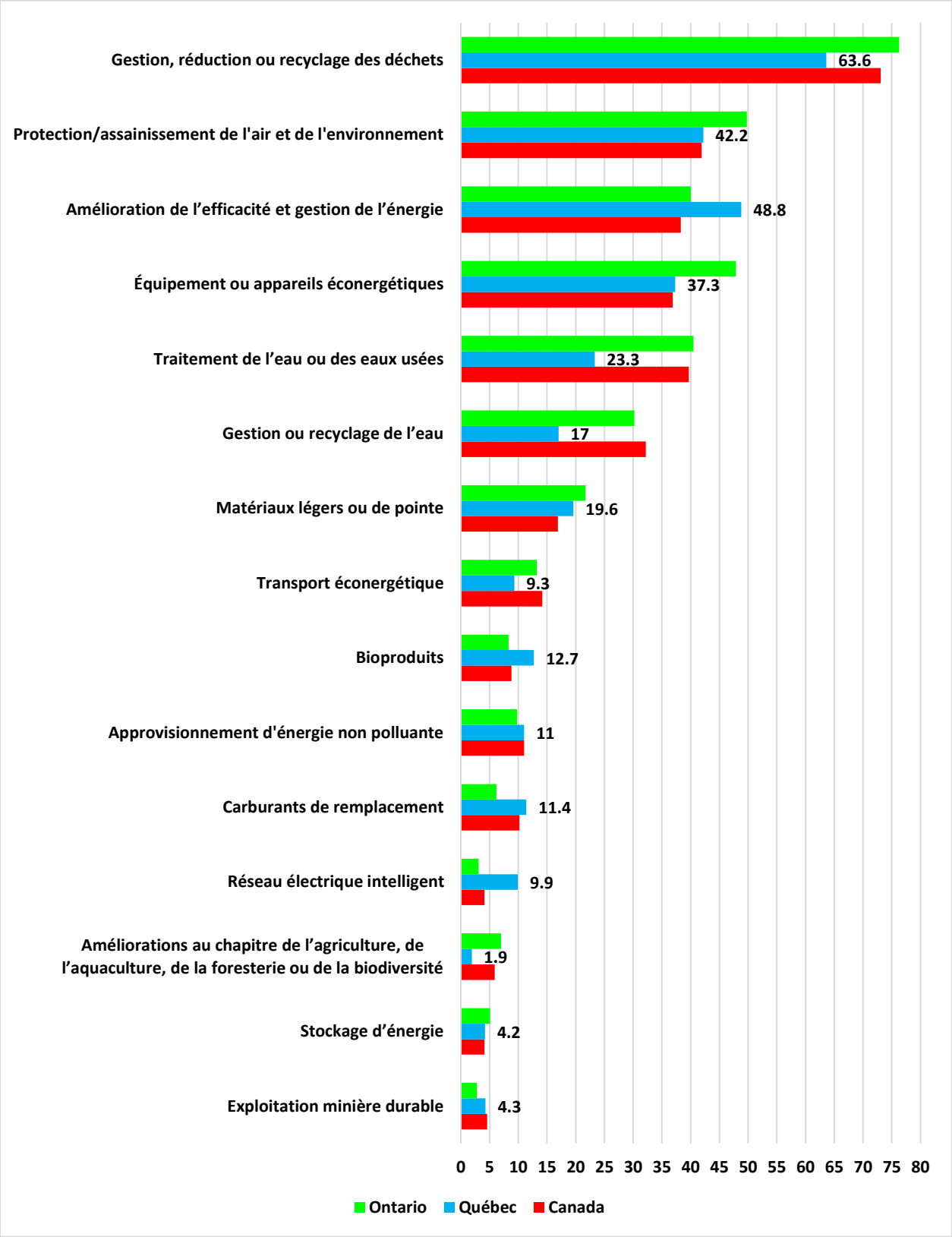
En ce qui concerne les technologies émergentes et propres enfin, dont l'utilisation demeure dans plusieurs cas assez marginale, quelques observations paraissent également pertinentes bien que les écarts soient ici encore très faibles. Le Québec manufacturier semble ainsi détenir une très légère avance (probablement peu ou non statistiquement significative) pour l'utilisation de la technologie des chaînes de blocs, de la géomatique/géospatiale, des nanotechnologies, des biotechnologies, de l'Internet des objets et surtout, de la réalité virtuelle et de l'intelligence artificielle. Pour ce qui est de l'intégration des technologies d'impression 3D, le Québec fait également aussi bien que l'Ontario et le Canada, alors que plus de 9% de ses entreprises manufacturières les utilisent. C'est avec un certain degré de surprise que nous avons toutefois constaté que *le manufacturier québécois semble accuser un petit retard (plus statistiquement significatif cette fois) eu égard à l'utilisation des technologies propres : à peine plus de 8% des entreprises manufacturières du Québec en ont adopté, contre plus de 11% au Canada et plus de 13% en Ontario*. Considérant les avantages comparatifs considérables du Québec en matière, notamment, d'électrification industrielle et compte tenu de la variété des programmes gouvernementaux d'appui à la décarbonation ou à l'efficacité énergétique à la disposition des entreprises depuis plusieurs années, ce retard paraît étrange et injustifiable[47].

L'enquête de Statistique Canada permet d'ailleurs quelques observations plus précises en ce qui concerne l'utilisation des différentes technologies propres par les entreprises manufacturières du pays. La classe de technologies et de systèmes la plus largement utilisée, de loin, demeure celle de la *gestion, de la réduction et/ou du recyclage des déchets*; or, si plus de 73% des manufacturiers canadiens et plus de 76% des manufacturiers ontariens y avaient recours en date de 2019, ce n'était le cas que de 64% des entreprises manufacturières québécoises environ, un écart significatif. Viennent en seconde place les *technologies de protection et d'assainissement de l'air et/ou de l'environnement*, adoptées par 42% des manufacturiers québécois qui, à cet égard, font aussi bien que la moyenne canadienne mais accusent toujours un retard face à l'Ontario (50%). Des retards plus ou moins importants face à l'Ontario et/ou au Canada dans son ensemble s'observent également pour une foule d'autres catégories de technologies propres, dont les *équipements ou appareils écoénergétiques*, le *transport écoénergétique* (le secteur du transport demeurant au Québec l'un des principaux talons d'Achille des politiques de décarbonation industrielle) et surtout, la *gestion et/ou le recyclage de l'eau* ainsi que *le traitement de l'eau ou des eaux usées*, domaines pour lesquels le Québec manufacturier fait particulièrement mal.

---

pièces; identification par radio-fréquences. Voir ISQ (2016), *L'utilisation des technologies de pointe dans les entreprises au Québec*, Québec.

Graphique 33. Part (%) des entreprises manufacturières utilisant des technologies propres (2019)[48]



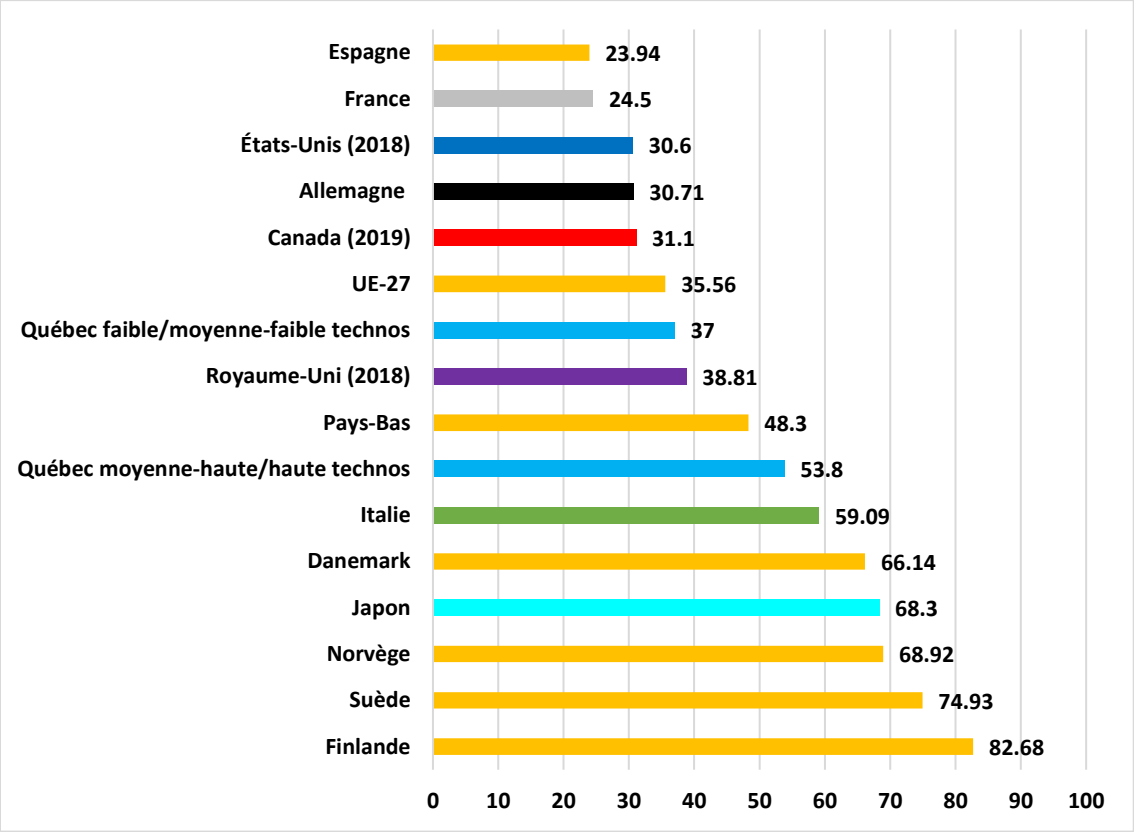
Il n'est par ailleurs pas surprenant de constater que le manufacturier québécois jouit en revanche d'une avance aussi considérable quant à l'intégration de *systèmes de gestion et d'efficacité énergétiques* (49% contre 40% en Ontario et 38% au Canada), avance qui s'observe également au niveau, par exemple, du développement de *réseaux électriques intelligents* (10% au Québec contre 4% au Canada et 3% en Ontario). Outre ces deux catégories, le Québec manufacturier semble également bien faire dans le créneau des *bioproduits et des carburants renouvelables*, pour lesquels il détient de légères avances sur l'Ontario et/ou le reste du pays; les créneaux en développement de l'hydrogène et de la biomasse auront possiblement pour effet d'accentuer cette bonne performance relative. Enfin, il faut dire également que le secteur de la fabrication du Québec fait aussi bien que l'Ontario ou le reste du pays en ce qui concerne l'adoption de *matériaux léger ou de pointe*, *l'approvisionnement en énergie non-polluante* (ici, on aurait toutefois pu s'attendre à une avance considérable du manufacturier québécois), l'intégration de *technologies de stockage d'énergie* (qui demeurent cependant peu répandues et nécessiteront des efforts supplémentaires considérables), de même que les systèmes permettant *l'exploitation minière durable*.

Ces comparaisons entre le Québec, l'Ontario et le Canada sont déjà intéressantes et révèlent certaines choses, notamment qu'*à certaines exceptions près (telles que pour les technologies de veille stratégique et en particulier, les technologies propres), le Québec manufacturier fait généralement presque aussi bien, sinon mieux que l'industrie ontarienne ou canadienne dans son ensemble en matière d'intégration des technologies 3.0. et surtout, 4.0.* Néanmoins, il demeure utile de comparer également le Québec manufacturier, comme nous l'avons fait à la section précédente en ce qui concerne la robotique industrielle, à d'autres États comparables en Amérique du Nord, en Europe ou en Asie. C'est ce que permettent notamment les données colligées par l'ISQ en date de 2020, qui brossent un portrait légèrement différent et un peu plus fin, par niveau technologique, de l'adoption de différentes technologies émergentes/4.0. par le manufacturier québécois. Malgré quelques divergences aux plans méthodologique et chronologique, nous pouvons ainsi comparer de manière relativement fiable, dans les graphiques qui suivent, la maturité technologique des secteurs manufacturiers québécois de faible/moyenne-faible et de moyenne-haute/haute technologie à celle des secteurs de la fabrication d'autres juridictions (notamment grâce aux données de Statistique Canada, de l'OCDE, d'*Eurostat* et de l'*US Census Bureau*), et ce pour cinq catégories : l'infonuagique, l'Internet des objets, l'analyse des données massives, l'intelligence artificielle et l'impression 3D.

En ce qui concerne d'abord l'adoption de l'*infonuagique*, qui permet la numérisation, l'externalisation et la sauvegarde des données puis constitue l'un des préalables à l'utilisation d'autres technologies – telles que l'Internet des objets, l'analyse des données massives, l'intelligence artificielle ou la *blockchain* – mais également, l'un des principaux outils de gestion des risques informatiques à la disposition des entreprises, on peut noter que le manufacturier québécois se situe, parmi ses principaux concurrents et partenaires, en milieu de peloton grâce notamment à la présence au Québec d'un certain nombre de joueurs importants de ce secteur[49]. Il semble persister, il est vrai, un écart considérable entre le manufacturier de moyenne/haute et de

moyenne/faible technologie à cet égard, mais même dans ce dernier cas, le Québec fait déjà aussi bien ou mieux, à 37% d'adoption, que la moyenne des pays de l'Union européenne, que le Canada (31%) ou même que certaines puissances comme le Royaume-Uni (39%) l'Allemagne (31%), les États-Unis (31%) et la France (25%). Le manufacturier québécois de moyenne/haute technologie fait pour sa part largement mieux que ces pays, à près de 54% d'adoption, mais tire tout de même de l'arrière, dans certains cas de manière assez marquée, face à bon nombre de leaders en la matière comme l'Italie (59%), le Japon (68%) ou les pays européens nordiques et scandinaves (66% à 83%).

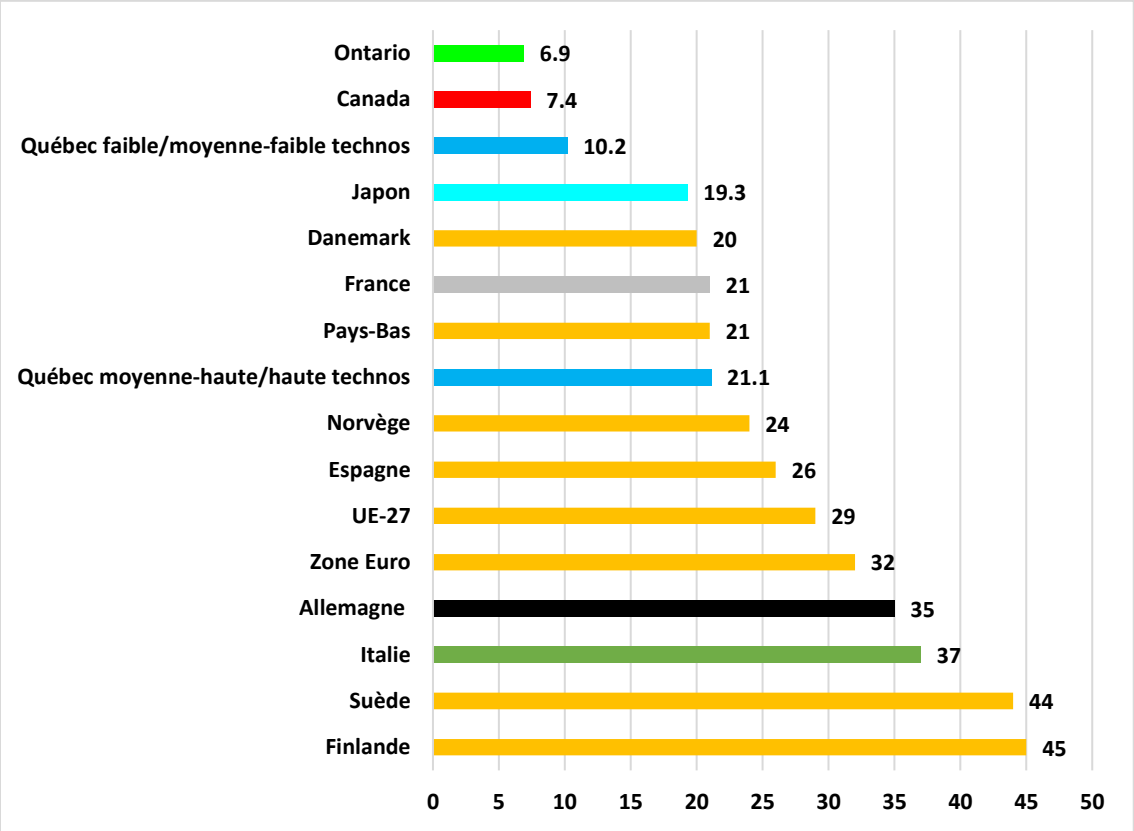
Graphique 34. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilisent l'infonuagique (2018-2020)[50]



L'Internet des objets est, dans l'ordre, la seconde classe de technologies émergentes/4.0. la plus largement adoptée par les entreprises manufacturières québécoises et, plus largement, dans le monde. Cela n'est guère surprenant, puisqu'elle permet aux manufacturiers de mettre en place des *systèmes d'interconnexion* de leurs propres équipements, d'interconnexion avec leurs clients ou fournisseurs, puis de *captage et de stockage de données en continu* sur le fonctionnement et la performance de leurs outils et processus d'approvisionnement, de manutention, de fabrication ou de stockage qui, à leur tour, rendent possible les pratiques de *surveillance en temps réel* et de *maintenance prédictive*. Ces systèmes d'interconnexion, de surveillance et de maintenance sont d'ailleurs prisés par les manufacturiers québécois, qui étaient selon l'étude de STIQ (2022 : 21) entre 22% et 33% à avoir intégré l'une ou l'autre de ces technologies numériques en date de 2021.

Les données de l'ISQ montrent pour leur part que de manière plus générale en date de 2020, de 10% (secteurs de moyenne/faible technologie) à 21% (secteur de moyenne/haute technologie) des manufacturiers québécois avaient adopté l'Internet des objets, soit davantage qu'en Ontario ou au Canada et, dans le cas des secteurs à plus forte intensité technologique, à parité avec des puissances comme le Japon ou la France mais, globalement, assez loin des niveaux atteints, sauf exceptions, par les manufacturiers européens.

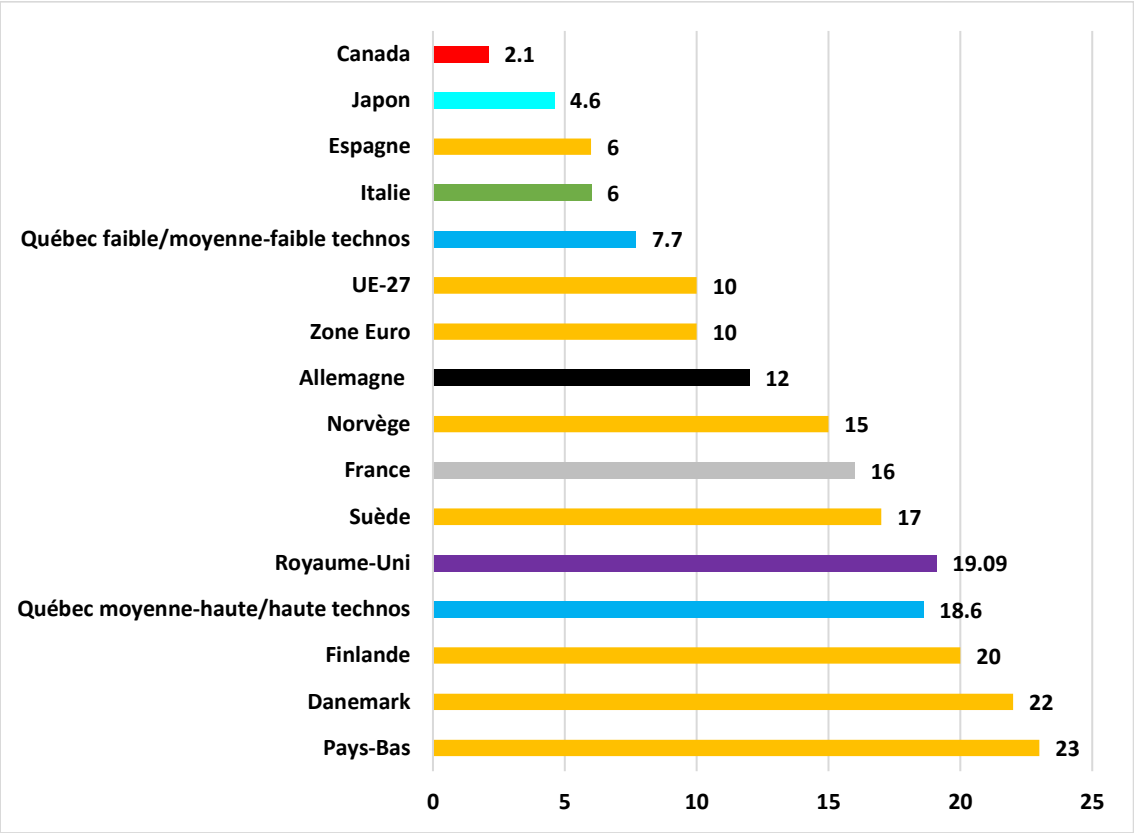
Graphique 35. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilisent l'Internet des objets (2019-2021)[51]



Évidemment, tant l'utilisation de l'infonuagique que l'adoption de systèmes d'Internet des objets sont directement liées, dans bien des cas, aux *technologies d'analyse des données massives*. Si l'Internet des objets et l'infonuagique permettent en effet la collecte et le stockage de grandes quantités de données utiles à l'identification d'inefficiences et d'opportunités d'accroissement de la productivité, encore faut-il que les entreprises se dotent (à l'interne ou en sous-traitance) des technologies nécessaires à la structuration, au classement et à l'analyse algorithmique de ces masses de données afin d'en tirer du sens et de la valeur. À cet égard, les constats à poser sur le manufacturier québécois sont contrastés, notamment parce que l'écart entre les secteurs de moyenne/faible et de moyenne/haute technologies est une fois de plus marqué. Ainsi, le manufacturier québécois de moyenne/faible technologie s'avère relativement peu avancé même si, à 7% d'utilisation du *big data*, il demeure à niveau face aux moyennes canadienne, japonaise ou

des pays de l'Union européenne. En revanche, le manufacturier québécois de moyenne/faible technologie est à la traîne par rapport à l'Allemagne (12%), à la France (16%), au Royaume-Uni (19%) ou aux pays scandinaves et d'Europe du Nord (15% à 23%), face auxquels les secteurs manufacturiers québécois de moyenne/haute technologie font toutefois bonne figure, à près de 19% d'utilisation des données massives.

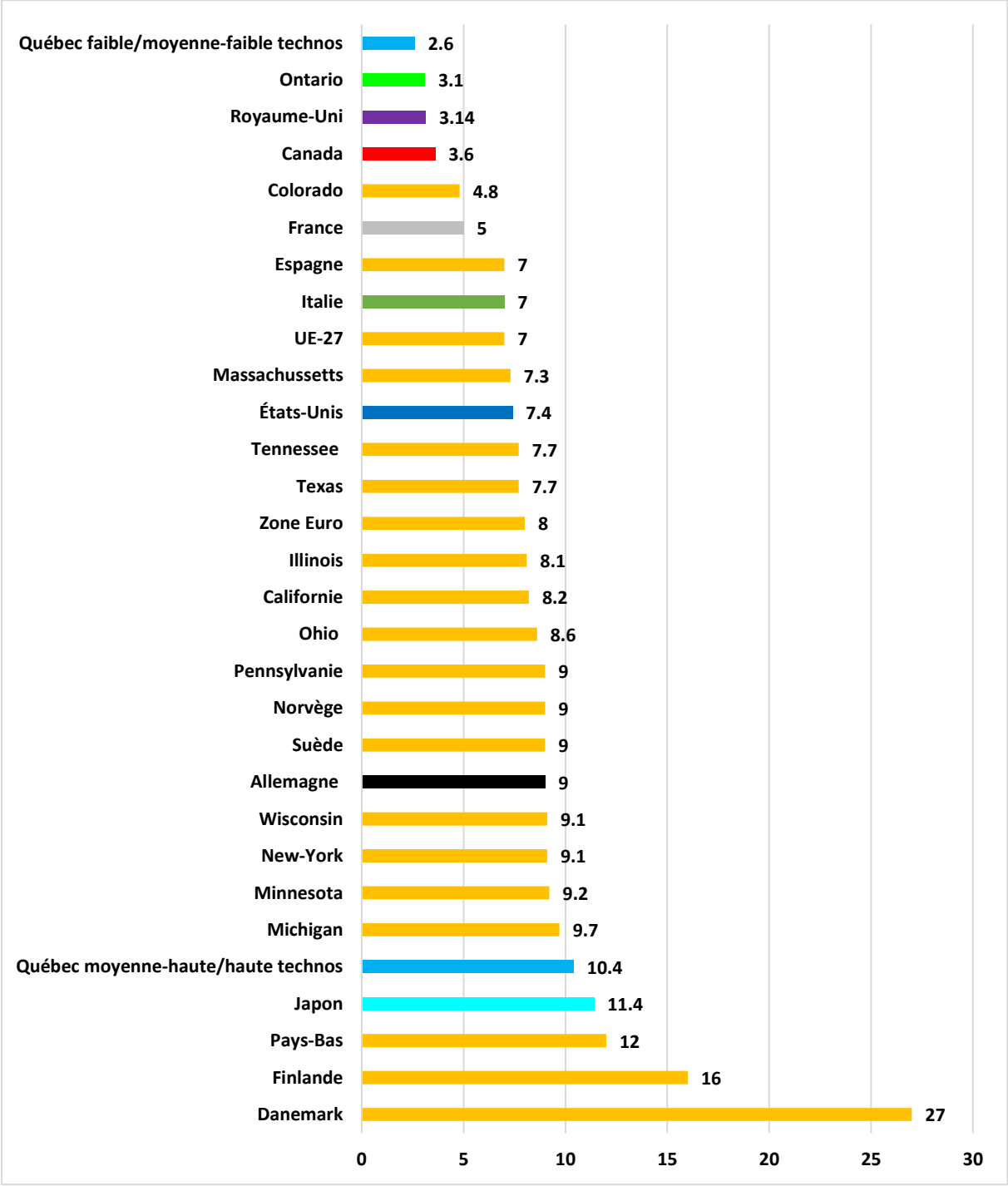
Graphique 36. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilisent l'analyse des données massives (2019-2021)[52]



L'intégration en entreprise de systèmes et de logiciels d'apprentissage automatique (*machine learning*) et/ou d'*intelligence artificielle* est à son tour directement liée à l'analyse et à la valorisation de données massives, mais ses applications et avantages sont loin de s'y limiter. En fait, *l'IA peut être appliquée à pratiquement tous les processus à travers les chaînes de valeur manufacturières*, de la conception et des logistiques d'approvisionnement à la gestion des matières résiduelles et à la mise en marché, en passant bien-sûr par la robotisation, l'optimisation de l'utilisation des matériaux et de l'énergie, puis le contrôle de la qualité. L'application de l'IA à la robotique industrielle permet notamment – comme l'illustre bien la plateforme de l'entreprise québécoise *Omnirobotic*, présentée à titre d'étude de cas un peu plus loin – l'adaptation des systèmes à des tâches complexes et variées plutôt que répétitives (par exemple, pour la conception/fabrication sur mesure et à la demande) ou alors, le passage à la robotique collaborative, tendance lourde de la transition vers l'industrie 4.0. qui rend possibles les interactions et la

coordination entre les travailleurs humains et les robots. Dans les deux cas, il est intéressant de préciser que *l'IA peut donc notamment rendre la robotique industrielle plus attrayante et plus aisément intégrable pour les PME partiellement ou faiblement automatisées*, qui opèrent encore sur des modes plus ou moins artisanaux et/ou dont les produits sont hautement personnalisés.

Graphique 37. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilisent l'apprentissage automatique/intelligence artificielle (2017-2021)[53]



Le Québec et plus particulièrement, la grande région de Montréal sont désormais des plaques tournantes nord-américaines et même, internationales dans le domaine de l'IA. C'est effectivement autour de Montréal (ou plus largement, du « corridor Montréal-Waterloo ») qu'a été structurée, notamment, la « supergrappe » canadienne de l'intelligence artificielle *SCALE AI*, financée par les gouvernements canadien et québécois à hauteur de près de 300 millions $ et dont l'une des missions principales est précisément de « sortir l'IA du labo pour la mettre à l'œuvre dans le monde réel », c'est-à-dire de travailler à accélérer « l'intégration de l'IA dans toutes les industries »[54]. *SCALE AI* est, en particulier, spécialisée dans l'intégration de l'IA aux processus d'approvisionnement (planification, logistique, analyse prédictive, traçabilité, etc.) et travaille actuellement sur une vingtaine de projets avec des entreprises québécoises, notamment du secteur manufacturier. D'autres organisations importantes, comme l'Institut de valorisation des données (IVADO), l'Institut québécois d'intelligence artificielle (MILA), le *Center for Intelligent Machines* (Université McGill), le Centre de recherche en données massives de l'Université Laval (CRDM), le Centre de recherche en informatique de Montréal (CRIM) ou *NextAI* (HEC Montréal) travaillent également à la fois à la recherche fondamentale et aux transferts technologiques.

Compte tenu du dynamisme de cet « écosystème » québécois de l'IA[55], il serait raisonnable de s'attendre à ce que le secteur manufacturier en ait profité; la réalité est, pourtant, plus nuancée. À l'exception peut-être des secteurs manufacturiers québécois de moyenne/haute technologie, qui avec un taux d'adoption de l'IA de plus de 10% figurent parmi les leaders mondiaux tout en accusant un retard sur le Japon ou certains pays d'Europe du Nord, le portrait de la situation est effectivement peu favorable. Avec un taux d'utilisation de seulement 2,6%, le manufacturier québécois de moyenne/faible technologie est par exemple pour sa part parmi les plus faibles utilisateurs d'IA non seulement à l'échelle internationale mais également à l'échelle plus restreinte de l'Amérique du Nord. L'écart technologique entre les différents secteurs manufacturiers québécois est donc ici encore important, mais même en considérant, sur la base notamment des données compilées par Statistique Canada, qu'environ *5% des entreprises du secteur québécois de la fabrication dans son ensemble utilisent l'IA, cela placerait le Québec tout juste devant l'Ontario (3,1%), le Canada (3,6%) ou le Royaume-Uni (3,1%) et à un niveau similaire à celui de la France (5%), mais en décalage par rapport à la plupart des États manufacturiers américains (5% à 10%) ou à la moyenne des pays de l'Union européenne (7%)*.

Étant donné l'importance capitale que l'IA est amenée à prendre, au cours des prochaines années, en matière d'automatisation et de numérisation manufacturières, d'important efforts supplémentaires sont donc de mise pour que le Québec rattrape ce retard. Des entreprises spécialisées telle qu'*Omnirobotic* (voir l'étude de cas ci-jointe) s'affairent d'ailleurs à l'intégration des technologies d'intelligence artificielle et de robotique industrielle, afin de faciliter l'adoption et l'utilisation des unes comme des autres par les entreprises manufacturières de différents secteurs.

Étude de cas #1 : Omnirobotic

Création : 2016
Siège social : Laval
Employés : 41
Secteurs d'activité : intelligence artificielle, fabrication
Principaux produits/services : logiciel d'intelligence artificielle, *Autonomy**OS***™ avec *Autonomy**Studio***™. Ce logiciel permet de déployer un système robotique autonome qui peut exécuter plusieurs tâches dont le revêtement de poudre, la peinture, le soudage, l'ébavurage, le ponçage et la métrologie sans contrôle humain explicite.
Principales clientèles : manufacturiers de pièces de haute diversité dans les secteurs de la fabrication métallique, en aérospatiale et dans le matériel lourd
Principaux marchés : Québec; clients potentiels aux États-Unis et éventuellement, à l'international

Innovation : suite intégrée de technologies pour la robotique industrielle autonome

Historique de l'entreprise

Peu avant la fondation d'Omnirobotic, les fondateurs Francois Simard et Laurier Roy développaient un logiciel d'autonomie chez *AGT Robotics* à Trois-Rivières. En 2016, ils ont fondé Omnirobotic. L'idée derrière la création de la compagnie était de permettre à tous les manufacturiers d'utiliser un système robotique autonome dans leurs usines. En 2018, Omnirobotic a lancé son premier produit, l'*Omni**Brain***™, plateforme matérielle sur laquelle *Autonomy**OS***™, le logiciel de l'entreprise, peut s'exécuter. Après le développement de ces deux produits, il ne manquait plus que l'environnement intégré de développement de systèmes robotiques autonomes, *Autonomy**Studio***™, lancé en mars 2022.

Historique de développement de la technologie

Avec sa première compagnie, *Orus Integration*, Francois Simard travaillait sur les principes de base de l'autonomie robotique. *Orus* a été fondée en 2000, puis acquise par *AGT Robotics* en 2010. Après l'acquisition d'*Orus*, Francois Simard a appliqué les principes de base de cette technologie chez *AGT Robotics* pour le soudage de l'acier de construction. En 2016, alors que les systèmes de vision et l'intelligence artificielle devenaient moins chers et plus faciles à utiliser, Francois Simard et Laurier Roy ont saisi l'opportunité de fonder une nouvelle compagnie qui permettrait à des manufacturiers de divers secteurs d'adopter des systèmes robotiques autonomes.

Les premières réalisations d'Omnirobotic, dont l'*OmniPainter*, ont prouvé qu'il y avait une forte demande pour des technologies autonomes. Mais pour permettre à l'ensemble de l'industrie

manufacturière de bénéficier de la robotique autonome, il fallait que de nouveaux outils soient développés. C'est cet qui a mené au développement d'*Autonomy**Studio***™, l'environnement de développement intégré permettant aux intégrateurs de robots d'utiliser *Autonomy**OS***™ et de réaliser des systèmes robotiques autonomes sur mesure pour tous les manufacturiers qui en ont besoin.

Principales technologies du système

*Autonomy**OS***™, *Autonomy**Studio***™ et l'*Omni**Brain***™ fonctionnent tous ensemble. *Autonomy**OS***™ est le système d'exploitation pouvant exécuter des systèmes robotiques autonomes pour les manufacturiers de pièces de haute diversité. Le planificateur de tâches intégré permet au système de comprendre les contraintes liées aux processus de son utilisateur et de trouver le meilleur plan d'action qui répond à ces besoins uniques. *Autonomy**Studio***™ est le premier environnement de développement intégré (EDI) pour la robotique autonome. Ce logiciel permet à l'utilisateur de créer son projet de robotique autonome à l'aide de scènes et de « comportements » (*behaviors*), puis de valider la performance de l'équipement dans un environnement virtuel avant même d'avoir besoin d'acheter l'équipement nécessaire pour le réaliser physiquement. L'*Omni**Brain***™ est la plateforme matérielle sur laquelle s'exécute *Autonomy**OS***™. Cette machine est installée sur le site du client et y demeure en tout temps pour assurer de manière fiable la perception du monde physique et le contrôle en temps réel des robots industriels.

Compatibilité et fonctionnalités/applications du système

*Autonomy**OS***™ supporte des caméras 3D de différents manufacturiers. Le logiciel incorpore un puissant planificateur de tâches et permet l'utilisation de l'apprentissage machine pour la perception 3D ou la génération de mouvements robotiques. *Autonomy**Studio***™ génère une expérience similaire à celle d'un logiciel de conception mécanique (CAO), mais permet également de définir le domaine de connaissances requis pour que la machine comprenne son rôle dans l'usine et les contraintes de procédés s'appliquant aux tâches qu'elle doit accomplir.

Omnirobotic a développé son propre langage graphique pour permettre aux intégrateurs robotiques de pouvoir utiliser l'intelligence artificielle sans avoir à être experts en la matière. Les principales applications d'*Autonomy**OS***™ sont les procédés à valeur ajoutée tels que la peinture, le soudage ou l'usinage. L'*Omni**Brain***™ fonctionne en interface avec les contrôleurs de robots de plusieurs fabricants comme *FANUC*, *Yaskawa*, *ABB*, *Universal Robots* et autres.

Principaux avantages du système

La plateforme d'*Autonomy**OS***™ peut contribuer à combler les pénuries de main-d'œuvre qualifiée en permettant aux intégrateurs robotiques de déployer des systèmes robotiques autonomes afin de répondre aux besoins de production en temps réel, même pour des rôles où la forme et la position des pièces changent continuellement. Rapidement, les manufacturiers noteront une amélioration nette de productivité et de l'efficacité des processus de production en usine grâce à l'automatisation flexible.

De plus, en utilisant la plateforme, les manufacturiers peuvent réduire leurs taux de défectuosité, les retouches et les rejets grâce à la reproductibilité algorithmique du mouvement et du processus robotique. En améliorant l'efficacité de la production et en limitant l'exposition directe aux émanations du procédé,

les manufacturiers peuvent également réduire les dangers pour la santé de leurs employés tout en limitant leur empreinte environnementale et en améliorant la qualité de vie à l'intérieur de l'usine.

Principales stratégies d'affaires liées à la commercialisation du système

Développer des partenariats commerciaux avec des fabricants de robots et d'équipements de processus qui ont déjà une exposition aux marchés cibles. Travailler aussi avec leurs réseaux d'intégrateurs de systèmes robotiques ayant une spécialisation établie dans les processus à valeur ajoutée. Donner également de la formation et du support technique sur *Autonomy**Studio***™ aux équipes internes de robotique dans des grandes entreprises, afin de permettre le développement d'applications évolutives d'*Autonomy**OS***™ au sein de leur organisation.

Impacts du système sur la production/productivité des utilisateurs

Omnirobotic a un nombre limité de systèmes en production chez les manufacturiers. Les systèmes déployés visaient à tester *Autonomy**OS***™ en situation réelle d'utilisation. Ces systèmes ont été déployés par Omnirobotic directement, puisque *Autonomy**Studio***™ n'existait pas encore. Plusieurs systèmes sont aussi en développement préliminaire pour des clients de toutes tailles et de tous secteurs d'industrie qui utilisent *Autonomy**Studio***™ depuis son lancement en mars 2022. Les clients faisant de la production avec *Autonomy**OS***™ ont remarqué une amélioration importante en consistance, productivité, qualité et fiabilité de la production, y compris des cellules individuelles qui traitent plus de 1000 pièces différentes chaque mois. On note aussi une réduction significative (plus de 50%) des rejets et des retouches.

Impacts du système sur l'utilisation de la main d'œuvre des utilisateurs

La technologie d'Omnirobotic permet de déplacer les travailleurs qualifiés des applications dangereuses, fatigantes ou fastidieuses vers des rôles de supervision des systèmes robotiques autonomes. Dans certains cas, il s'agit de travailleurs expérimentés qui, étant donné l'allègement de l'effort physique et des contraintes articulaires associés à leurs tâches, peuvent rester à l'emploi de l'entreprise plus longtemps avant de prendre leur retraite. Leur savoir-faire peut d'ailleurs, en quelque sorte, être transmis à la machine par l'écriture de *Behaviors* reproduisant les processus de prise de décision dans l'exécution de leur travail. Le système permet donc une valorisation de la compétence du travailleur sans le contraindre à l'exécution répétitive et pénible de ce savoir-faire sur chaque pièce à produire.

À long terme, il est prouvé que l'augmentation de l'automatisation crée plus d'opportunités d'emplois de haute qualité et mène à des augmentations de salaire grâce l'amélioration de la productivité par employé.

Impacts du système sur les ventes des utilisateurs

La technologie d'Omnirobotic a un impact sur les ventes des utilisateurs, surtout dans l'aéronautique. La constance de la qualité d'exécution et la diminution des rejets entrainent une plus grande valeur perçue du produit de l'entreprise tout en diminuant le coût de revient unitaire. Ces facteurs permettent aux utilisateurs d'*Autonomy**OS***™ de sécuriser les clientèles existantes et de ravir des parts de marché aux compétiteurs fonctionnant toujours en production « artisanale ».

Perspectives

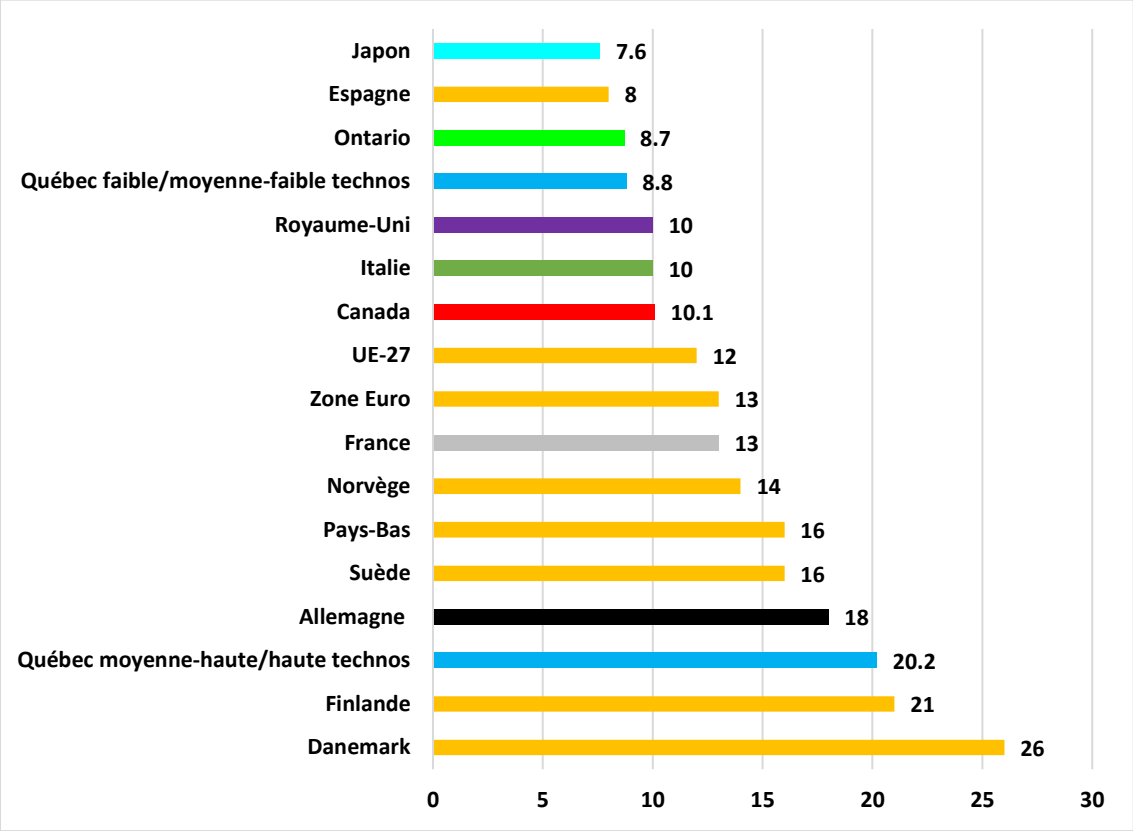
Omnirobotic est une entreprise axée sur la résolution d'un problème très difficile : apprendre un métier à une machine. Le développement scientifique et expérimental est donc nécessaire afin de mettre au point et de parfaire des algorithmes d'intelligence artificielle permettant de dépasser l'état de l'art. La plateforme se veut un outil pour les intégrateurs en automatisation et visant à ce que l'ensemble des entreprises manufacturières, et non pas seulement les secteurs de l'automobile et l'électronique, puisse bénéficier des bienfaits de la robotique. Le défi technique étant colossal, le financement par capital de risque a également été mobilisé afin de permettre le développement de cette plateforme technologique.

La maturité du secteur manufacturier québécois est également contrastée en ce qui a trait à une autre classe de technologies de rupture qui aura des impacts très significatif sur l'évolution des techniques de fabrication et notamment, sur l'éventail des possibilités en matière de prototypage, de personnalisation des produits et de variété des matériaux de base utilisés au cours des prochaines années et décennies[56] : *l'impression 3D*. Bon nombre de secteurs manufacturiers québécois d'importance ont d'ailleurs soit déjà amorcé l'intégration graduelle de ces technologies ou prévoient le faire, alors que d'autres pourront agir à titre de fournisseurs d'équipements et de matériaux nécessaires à leur déploiement au Québec et ailleurs – pensons à l'aéronautique et au matériel de transport plus généralement, aux industries chimique et pharmaceutique, à l'équipement médical, à la machinerie et à l'outillage industriels, aux pâtes et papiers et à l'industrie de l'emballage, aux produits du bois, à la transformation du plastique ou même à la métallurgie et aux créneaux des produits minéraux non-métalliques et des matériaux avancés (poudres métalliques et autres)[57]. La fabrication additive est particulièrement versatile et adaptative, offrant ainsi de vastes opportunités pour une foule de secteurs : « elle permet de fabriquer des pièces en polymère, en métal (aciers, aluminium, cobalt-chrome, nickel, titane), en céramique, en composite ou en matière organique (bois, cires, matières alimentaires, tissus biologiques) de complexité élevée et beaucoup plus légères qu'avec les procédés d'usinage ou de moulage conventionnels »[58].

De manière générale, c'est effectivement le secteur manufacturier – et dans une moindre mesure, les secteurs de la santé ou de la construction – qui bénéficiera des nouvelles possibilités ouvertes par l'impression 3D, en particulier dans les créneaux de l'automobile et de l'aérospatiale. Les quatre grandes puissance mondiales – États-Unis, Chine, Japon et Allemagne – dominent actuellement ce marché en émergence eu égard à la production et à la vente de systèmes et de machinerie pour l'impression 3D, mais le portrait en ce qui concerne la production des intrants en matériaux de base et l'utilisation de ces technologies par les différents secteurs manufacturiers nationaux est plus nuancé. Le Canada n'est évidemment pas, pour l'heure, un joueur majeur de cette industrie à l'échelle internationale, mais le Québec y fait des progrès significatifs : on estimait ainsi qu'au tournant des années 2020, plus de soixante entreprises québécoises offraient des matériaux (le créneau des poudres métalliques étant particulièrement dynamique), des imprimantes ou des pièces (la majorité étant toutefois encore importées) et/ou des services de prototypage,

d'optimisation des procédés ou d'impression. Plus d'une quarantaine d'organisations universitaires, sectorielles ou gouvernementales québécoises travaillaient également à la R&D ainsi qu'au soutien à l'adoption et à l'intégration de ces technologies en entreprise[59].

Graphique 38. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilisent l'impression 3D/fabrication additive (2019-2020)[60]



D'importants défis subsistent effectivement en matière d'adoption de l'impression 3D par les différents secteurs manufacturiers québécois, même s'ils ne font pas nécessairement mauvaise figure en comparaison d'autres juridictions. En date de 2020, environ 9% des entreprises québécoises des créneaux de moyenne/faible technologie utilisaient l'impression 3D, soit une proportion comparable aux secteurs manufacturiers japonais, ontarien, britannique, italien ou canadien mais en décalage plus ou moins important face à la moyenne des pays européens. En revanche, à plus de 20% d'utilisation, les secteurs manufacturiers québécois de moyenne/haute technologies se révèlent particulièrement avancés, surpassant même les secteurs de la fabrication français (13%), hollandais (16%) ou allemand (18%) et faisant pratiquement aussi bien ou dans certains cas, mieux que les pays européens nordiques et scandinaves (14% à 26%). Comme pour la plupart des autres technologies émergentes, donc, l'écart d'adoption entre les différents créneaux manufacturiers québécois est important et globalement, le taux d'utilisation de l'impression 3D par le secteur de la fabrication se situe probablement quelque part autour des 12% à 15% – 10% selon Statistique Canada, 17% selon Léger (2022) – ce qui placerait le Québec en milieu de peloton à

l'échelle internationale. Des progrès important restent donc à être accomplis pour « démocratiser » cette technologie de rupture, notamment au niveau de la diversité des matériaux et alliages disponibles pour la fabrication additive, de l'abordabilité des équipement et/ou de l'accès au financement à l'acquisition, puis du soutien technique, logistique et à la formation[61].

Étude de cas #2 : 3M Company (Minnesota, États-Unis)

Fabricant de produits de consommation courante, d'équipement industriel et médical et de produits chimiques.

Création : 1902 (*Minnesota Mining & Manufacturing Company*)
Siège social : Saint-Paul, Minnesota, États-Unis
Revenus bruts : 35,4 milliards $US (2021)
Employés : 95 000 (2021)

Innovation : procédé d'impression 3D de polytétrafluoréthylène (PTFE – « Téflon »®)

Les États-Unis sont, historiquement et encore aujourd'hui, un géant mondial de l'industrie des produits chimiques : des entreprises comme DuPont, Dow et 3M ont carrément permis au secteur des produits chimiques de se hisser (non sans dérives et controverses) au premier rang des industries manufacturières américaines eu égard à la valeur ajoutée brute, le PIB du secteur (plus de 400 milliards $US en 2020) surpassant encore largement celui de l'électronique (310 milliards $US), de l'agroalimentaire (273 milliards $US) ou de l'automobile (157 milliards $US)[62].

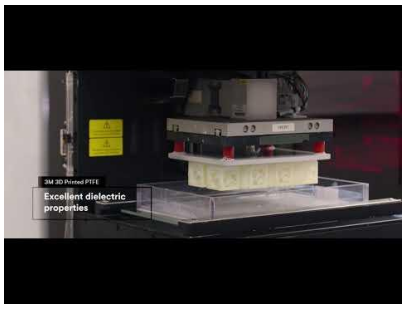
L'industrie chimique américaine est d'ailleurs parmi les secteurs manufacturiers les plus technologiquement avancés et robotisés du pays, sa densité robotique (86 robots/10,000 employés) n'étant surpassée que par celle des secteurs des produits du plastique/caoutchouc (208), des produits électriques/électroniques (332), et de l'automobile (1528). Elle est même l'une des plus robotisées du monde, sa densité robotique surpassant notamment celle du Canada (80), du Japon (74), de la France (71), de l'Allemagne (64) ou du Royaume-Uni (56)[63]. Son automatisation continue d'ailleurs de progresser, une bonne part des entreprises du secteur continuant d'investir massivement dans les technologies de contrôle logique programmable, les systèmes de contrôle distribués, l'interconnexion des équipements, l'Internet des objets, l'analyse des données massives, l'intelligence artificielle et les outils de simulation dynamique[64].

Au-delà de l'automatisation et de la numérisation toutefois, l'une des technologies avancées offrant un potentiel de commercialisation parmi les plus importants pour l'industrie chimique américaine (et en général) est l'impression 3D, dont les applications pour la fabrication additive dans divers secteurs manufacturiers nécessiteront un apport de plus en plus diversifié en composants chimiques spécialisés. Malgré un taux d'adoption encore relativement limité de la fabrication additive par les entreprises

manufacturières américaines et plus largement, occidentales – outre quelques exceptions, dans les secteurs de haute-technologie ou dans les pays européens nordiques, notamment –, les promesses de l'impression 3D pour le secteur manufacturier sont immenses et ses applications sont en voie de se démocratiser, en partie grâce à la baisse du coût et, en particulier, à la diversification et à la spécialisation des équipements et des intrants en matières premières (notamment chimiques) et en matériaux avancés nécessaires à l'impression de pièces résistantes et aux géométries complexes[65].

Ainsi, l'industrie chimique pourra tirer profit de ce développement des technologies de fabrication additive en fournissant à la fois les intrants en polymères de plus en plus complexes et performants ainsi que l'équipement et les services spécialisés nécessaires à leur transformation[66]. L'un des meilleurs exemples de cette dynamique liant inextricablement les industries chimique et manufacturière par le biais de l'impression 3D est celui de la multinationale américaine 3M, qui a initié une petite révolution dans le monde de la fabrication additive en 2019 en commercialisant le premier procédé d'impression 3D de polytétrafluoréthylène (PTFE), dont les propriétés en matière de malléabilité, de friction et surtout, de résistance thermique (-200 à +260 degrés Celsius), et chimique et à la traction (*tensile strength* / *yield strength*) sont particulièrement recherchées.

Précisément en raison de ces propriétés particulières, le PTFE est déjà largement utilisé en tant qu'intrant par la quasi-totalité des industries manufacturières, du textile à l'électronique en passant par les produits métalliques et l'équipement médical. Ces propriétés et surtout, sa résistance thermique en faisaient d'ailleurs jusqu'à récemment un polymère inadapté à l'impression 3D, mais l'entreprise 3M et sa division des matériaux avancés ont réussi à mettre en marché, au tournant des années 2020, un procédé breveté au milieu des années 2010 via leur filiale *Dyneon*[67] et désormais à la disposition des manufacturiers à la manière d'un service de prototypage ou de production en série de pièces entièrement composées de PTFE, trop petites ou aux formes trop complexes pour les méthodes de fabrication traditionnelles[68].



Le procédé d'impression 3D de PTFE développé par 3M (*3M™Dyneon™PTFE*), mais aussi ses produits dérivés (poudres et polymères) permettront ainsi à un large éventail d'industries manufacturières de s'approvisionner ou de fabriquer des pièces spécialisées et/ou sur mesure de haute qualité et à moindre coût qu'actuellement[69]. Parmi les multiples applications possibles, mentionnons par exemple :

- **l'industrie du matériel de transport** : joints d'étanchéité et de culasse, tubes et tuyaux, roulements, engrenages et roues dentées, etc.
- **les industries chimique/pharmaceutique et agroalimentaire** : mélangeurs statiques, turbines d'agitation/dispersion, revêtements inertes, emballages spécialisés, etc.

- **l'industrie de l'équipement électrique** : isolation de fils et câbles, manchons, douilles, connecteurs, interrupteurs, etc.
- **l'industrie textile** : fils et filaments, tissus enduits/imprégnés (ex. *Gore-Tex*), etc.
- **l'industrie de l'équipement médical** : matériau d'implantation, prothèses, etc.

Chapitre 2. Le secteur du matériel de transport

Faits saillants

- *Contrairement à sa productivité manufacturière globale, la productivité du travail québécoise dans les secteurs de l'aéronautique et autres matériels de transport est également dans la fourchette supérieure des économies recensées : à 169 000 $US par emploi en moyenne, elle se situe derrière la France (305 000 $US), loin devant, mais aussi derrière les États-Unis (217 000 $US). En revanche, le Québec fait mieux à cet égard que l'Ontario et le Canada, puis mieux que le Royaume-Uni, l'Allemagne et l'Italie.*

- *Bien que le Québec, dans les secteurs de l'aéronautique et autres matériels de transport, dépense encore davantage en R&D (95 630 $US par million de $US de PIB en 2019) que le Canada ou la Chine, ces dépenses demeurent assez faibles en comparaison des autres économies recensées. Le Québec se retrouve donc pour cette mesure derrière l'Allemagne (118 000 $US), les États-Unis (127 000 $US), la France (128 000 $US), le Royaume-Uni (133 000 $US) et l'Italie (174 000 $US).*

- *En comparaison des autres pays recensés, la productivité du capital québécoise dans les secteur de l'aéronautique et autres matériels de transport est particulièrement élevée. À plus de 8 $US de PIB par dollar de formation brute de capital fixe en date de 2019, le Québec surpasse pour cette mesure l'Allemagne (7 $US), les États-Unis (5,8 $US), l'Ontario (5,2 $US), le Royaume-Uni (4,8 $US), la France (4,3 $US) et l'Italie (3,8 $US).*

- *Le Canada est devenu durant la second moitié des années 2010 le pays producteur au sein duquel l'industrie automobile concentre la plus grande proportion des robots industriels en opération dans le secteur manufacturier. Cette proportion est passée d'un peu plus de 50% en 2011 à plus de 60% en 2020; cela permet de comprendre pourquoi l'Ontario, qui concentre les usines d'assemblage du pays, possède une densité robotique manufacturière si élevée. Par contraste, l'industrie automobile du Québec se limite essentiellement au secteur des pièces mais ne comprend plus d'usine d'assemblage et est par conséquent très largement moins robotisée que ne le sont les secteurs automobiles complets et intégrés des pays producteurs. L'industrie des pièces automobiles québécoise ne concentre pas plus de 6% des robots en opération dans le secteur manufacturier de la province.*

- *L'indicateur de densité robotique des secteurs automobiles brosse un portrait un peu plus contrasté, bien que le Canada demeure en date de 2020 parmi les leaders mondiaux à près de 1600 robots/10,000 employés contre 2750 en Corée du Sud, 1671 en France, 1528 aux États-Unis, 1395 au Japon et désormais, 1150 en Chine, dont le secteur automobile s'est*

robotisé à vitesse grand V depuis le milieu des années 2010. Ici encore, la comparaison avec le Québec (239/10,000) n'est offerte qu'à titre illustratif.

- *Si l'industrie québécoise des pièces pour véhicules automobiles semble accuser un certain retard en matière d'utilisation des technologies d'automatisation et de numérisation 3.0., elle fait en revanche montre d'une légère avance quant à l'adoption des technologies émergentes/4.0., à l'exception notable, encore une fois, des technologies propres.*

- *Les secteurs de l'aérospatiale et du matériel de transport hors-automobiles ne représentent généralement que moins de 1% du stock robotique manufacturier des économies avancées. Il y a cependant quelques exceptions à cette règle, dont le Québec. Nos estimations ont en effet permis d'établir à environ 4%, la part du stock robotique manufacturier québécois concentrée dans les secteurs de l'aéronautique et autres matériels de transport (ce qui s'explique évidemment en partie par l'absence d'une industrie automobile intégrée au Québec, ce qui augmente d'autant la part robotique relative des autres industries).*

- *Avec une densité robotique que nous avons estimée à 43 robots/10,000 employés, le Québec fait dans ces secteurs (aérospatiale, ferroviaire, naval, véhicules récréatifs) et grâce particulièrement à son industrie aéronautique de pointe, très bonne figure et surpasse assez largement non seulement le Canada dans son ensemble (23), mais également d'autres puissances de l'aéronautique dont le Royaume-Uni (23) et les États-Unis (15).*

- *À quelques exceptions près, les niveaux de maturité et d'intensité technologique de l'industrie aérospatiale québécoise sont plus élevés que ceux de cette industrie ailleurs au Canada, y compris en Ontario. En matière d'utilisation des technologies de pointe/3.0. et encore plus clairement en ce qui concerne les technologies émergentes/4.0. (à l'exception notable des technologies propres), l'industrie aérospatiale québécoise détient ainsi une avance plus ou moins forte.*

2.1. Le secteur automobile

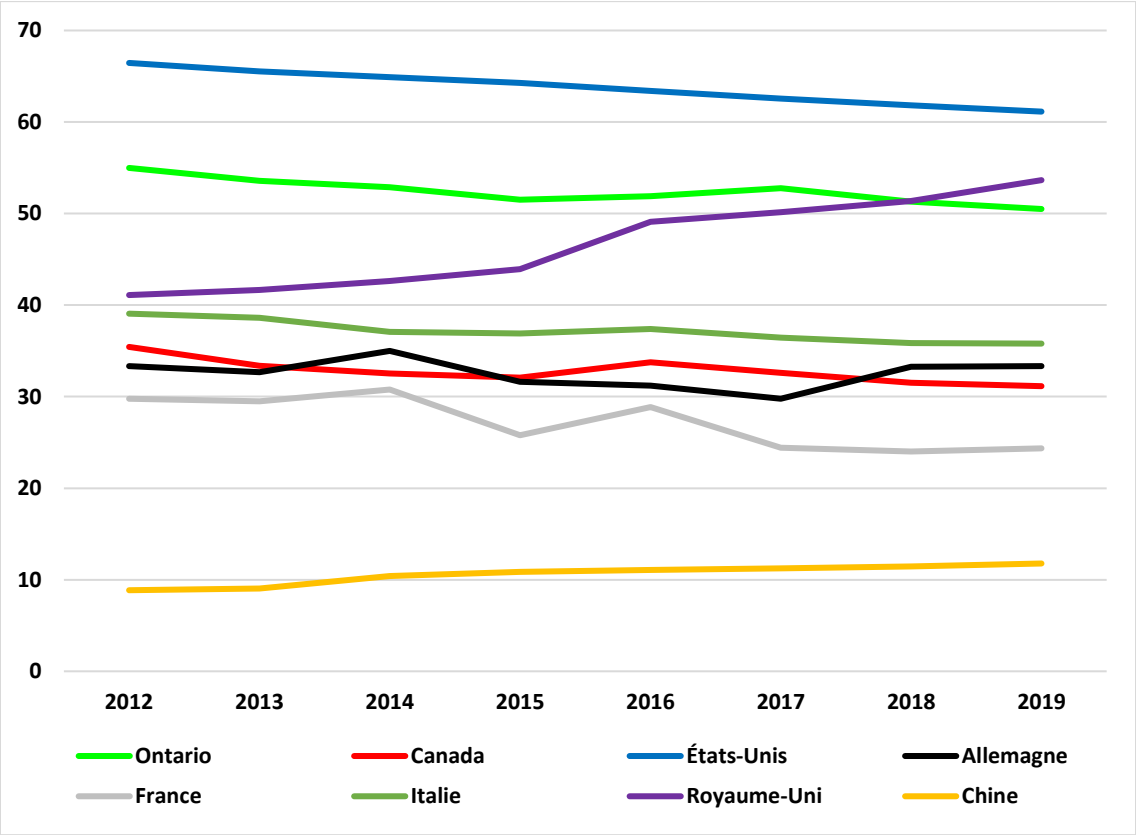
2.1.1. Caractéristiques économiques comparées

➢ Pour ce secteur, nous avons choisi de ne pas intégrer les données pour le Québec, car elles ne se prêtent pas à la comparaison avec les juridictions recensées, qui sont toutes des puissances de l'industrie automobile.

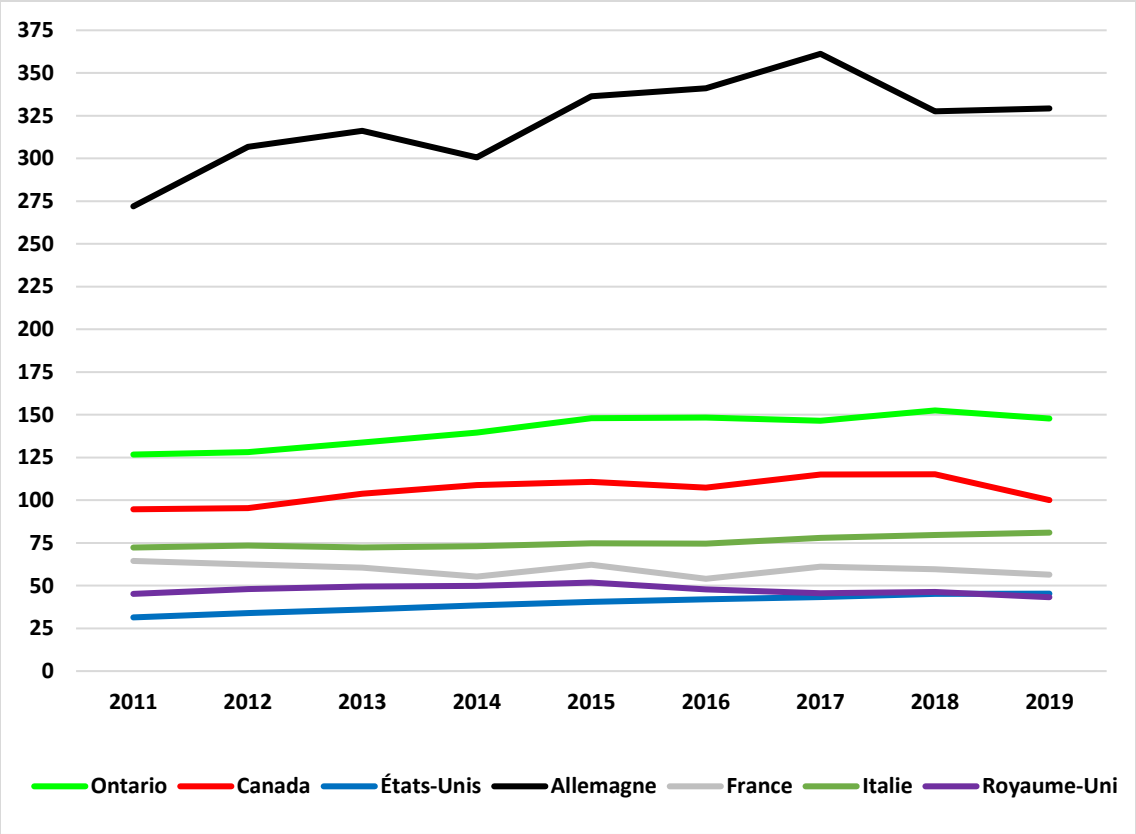
➢ À l'exception du Royaume-Uni et de la Chine, le nombre d'entreprises par million d'habitant est en recul dans le secteur automobile pour toutes les juridictions recensées, y compris en Ontario.

➢ Les États-Unis forment le pays qui, en fonction de sa population, a le plus d'entreprises dans le secteur de l'automobile (61 par million d'habitants). Suivent le Royaume-Uni (54) et l'Ontario (50), puis l'Italie (36), l'Allemagne (33) et le Canada dans son ensemble (31). L'écart entre l'Ontario et le Canada pour cette mesure illustre la très forte concentration de cette industrie en Ontario.

Graphique 39. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteur de l'automobile[70]



Graphique 40. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur de l'automobile[71]

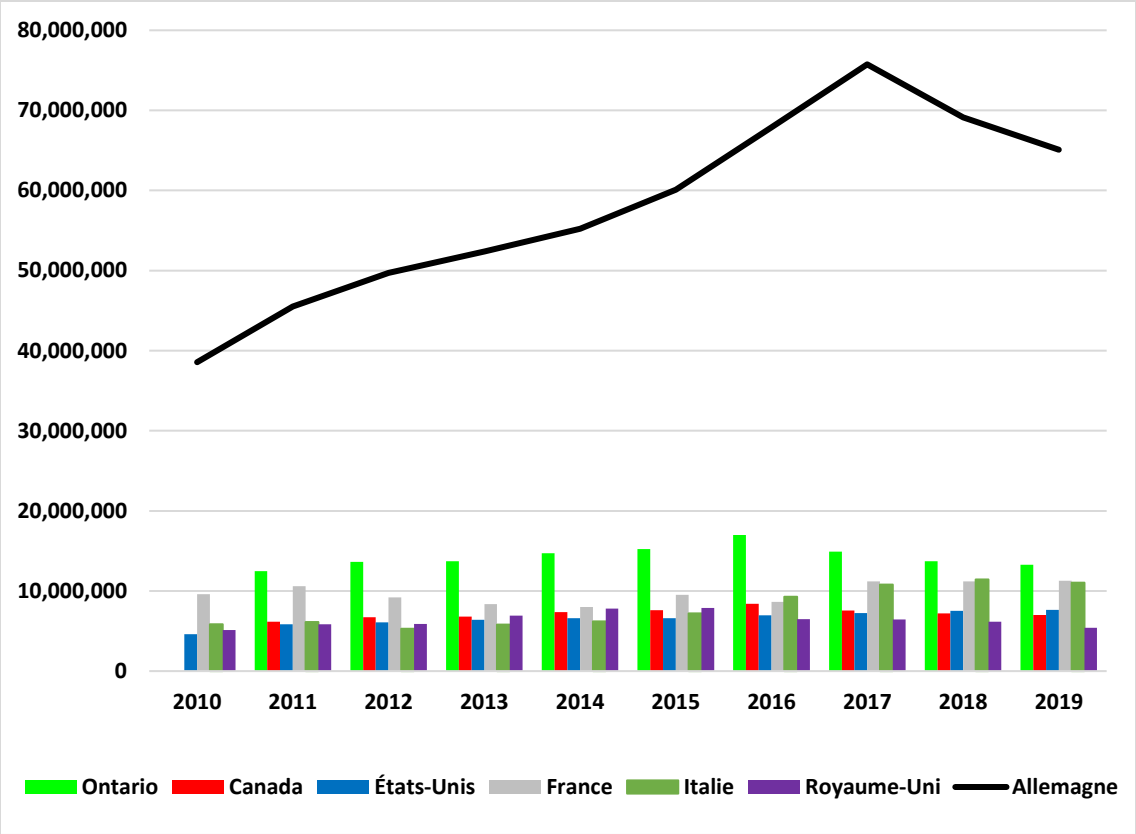


➢ L'Allemagne a en moyenne un nombre beaucoup plus important d'employés par entreprise (329 en date de 2019), dans le secteur automobile, que les autres puissances de cette industrie. La taille des entreprises allemandes dans cette industrie semble aussi être en croissance continue depuis le début des années 2010.

➢ Avec une moyenne de 148 employés par entreprise, les entreprises du secteur de l'autonomie en Ontario sont également, en moyenne, beaucoup plus grandes que ne le sont celles du même secteur en Italie (81), en France (56), aux États-Unis (44) et au Royaume-Uni (43). La tendance a également été, en Ontario, à la croissance de la taille des entreprises du secteur automobile au cours des années 2010.

➢ Le Canada dans son ensemble conserve une moyenne d'emplois par entreprise (100) inférieure, dans le secteur automobile, que celle de l'Ontario; cela s'explique évidemment par le fait que pour l'essentiel, à l'extérieur de l'Ontario les entreprises canadiennes actives dans ce secteur, y compris au Québec, sont des producteurs de pièces et tendent à être moins grandes.

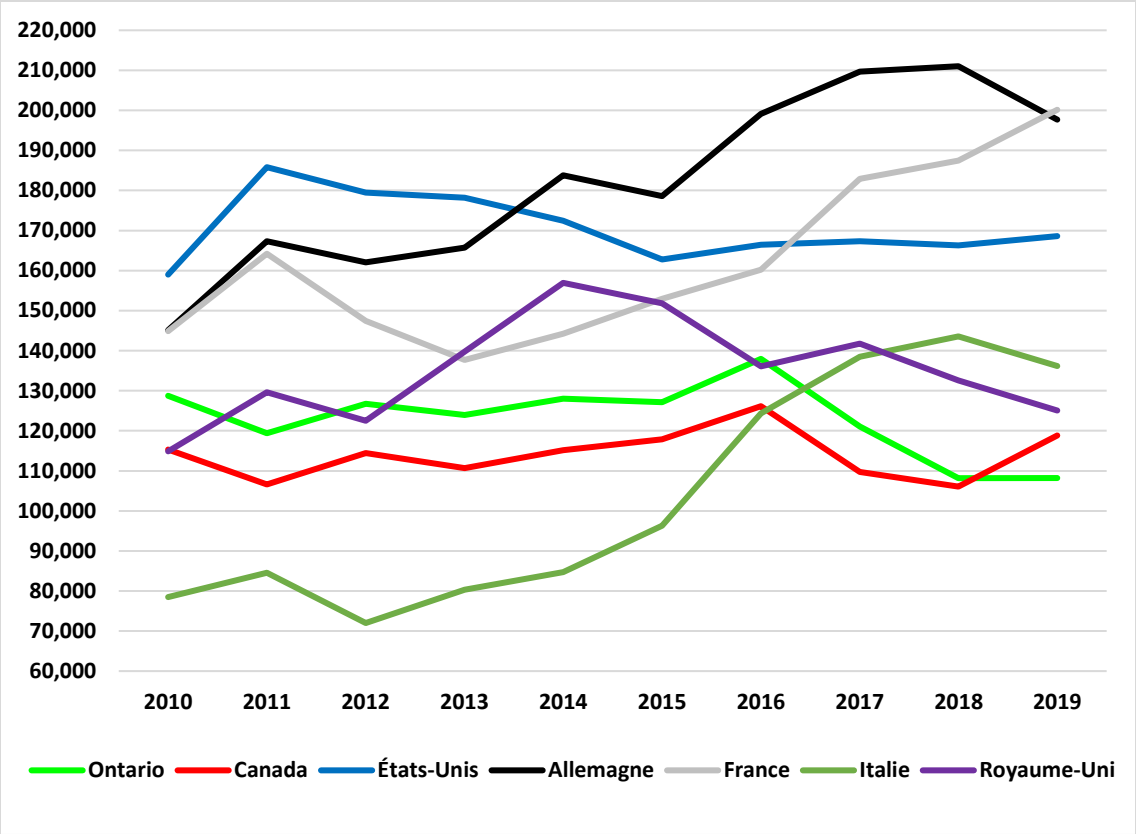
Graphique 41. PIB par entreprise, secteur automobile (millions $ US constants 2015)[72]



➢ L'Allemagne domine complètement ses concurrents en ce qui concerne la valeur produite par entreprise dans le secteur automobile, à plus de 65 millions $US (constants 2015) en date de 2019 contre un peu plus de 13 millions US$ en Ontario et 11 millions $US en France et en Italie, ses plus proches poursuivants. Le PIB par entreprise du secteur automobile allemand est d'ailleurs en forte croissance depuis 2010, malgré un recul entre 2017 et 2019.

➢ L'Ontario demeure la deuxième juridiction qui génère le plus de valeur par entreprise dans le secteur automobile, devant la France et l'Italie mais également devant les États-Unis, le Canada dans son ensemble et le Royaume-Uni. Le PIB par entreprise du secteur automobile ontarien a également été en croissance au cours des années 2010, ayant atteint un sommet à 17 millions $US en 2016.

Graphique 42. PIB par emplois, secteur automobile ($ US constants de 2015)

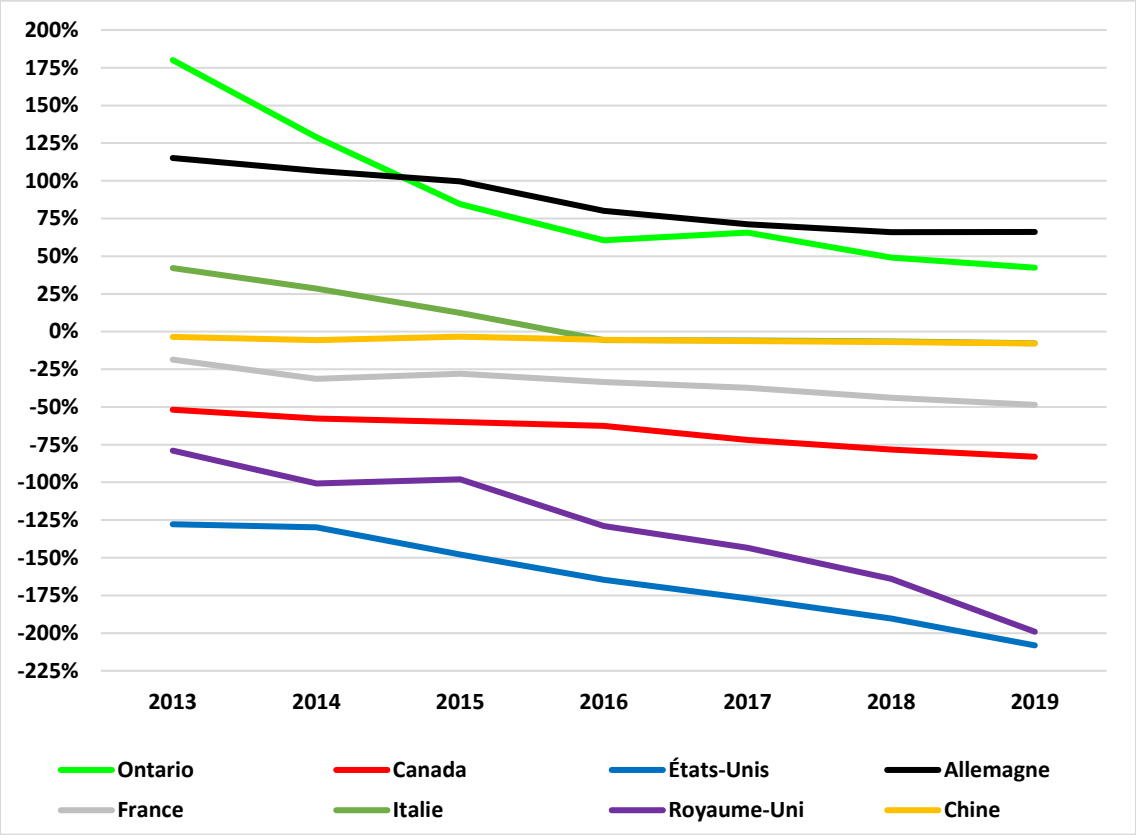


➢ L'Allemagne et la France avaient désormais de loin, en 2019, les plus hauts taux de productivité du travail dans le secteur de l'automobile. À environ 200 000 $US (constants 2015) de PIB par emploi dans ce secteur, elles surpassaient notamment les États-Unis (169 000 $US), l'Italie (136 000 $US) et le Royaume-Uni (125 000 $US).

➢ Les États-Unis, grande puissance de l'automobile, a perdu la position de tête de la productivité du travail dans ce secteur à partir de 2014. La productivité du travail américaine dans ce secteur a effectivement décliné légèrement à compter de 2011, alors que la productivité allemande, français et italienne a beaucoup progressé au cours des années 2010.

➢ L'Ontario (108 000 $US par emploi) et le Canada dans son ensemble (119 000 $US) sont les deux juridictions dont la productivité du travail dans le secteur automobile est la plus basse parmi les économies recensées. Il semble donc que l'Ontario ait comparativement, dans le secteur automobile, de grandes entreprises qui produisent beaucoup, mais dont l'efficience est très inférieure aux grandes entreprises allemandes et aux plus petites entreprises françaises, américaines et italiennes. De manière générale, la productivité du travail ontarienne dans le secteur automobile est d'ailleurs en léger déclin depuis 2010.

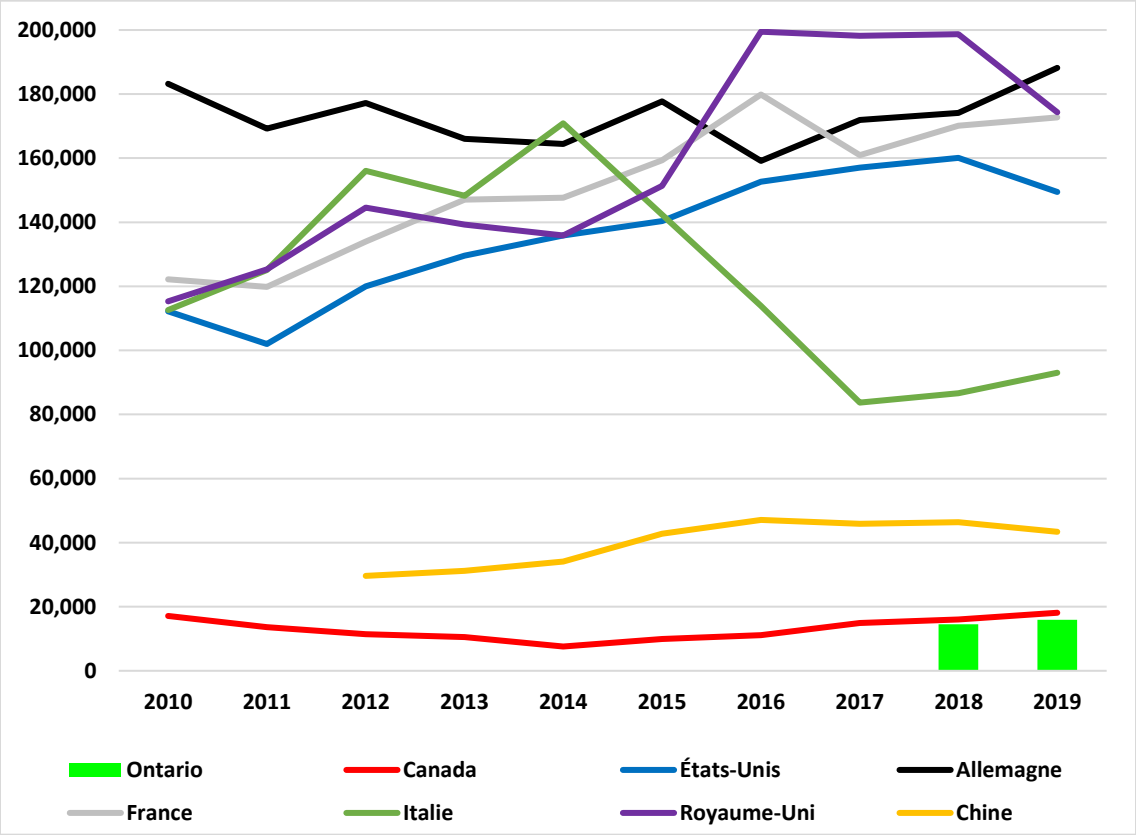
Graphique 43. Valeur de la balance commerciale du secteur automobile en % du PIB du secteur automobile[73]



➢ De manière générale et à l'exception de la Chine, la balance commerciale des grands pays producteurs dans le secteur automobile a suivi une tendance négative au cours de la décennies 2010. L'Ontario n'a pas fait exception, le surplus commercial de son secteur automobile étant passé de plus de 175% du PIB du secteur à tout juste au-dessus de 40% entre 2013 et 2019.

➢ L'Ontario demeure néanmoins, avec l'Allemagne (66% du PIB en 2019), la seule juridiction recensée qui génère encore un surplus commercial dans le secteur automobile. Le surplus de l'Italie a, depuis le début des années 2010, fondu et s'est transformé en un déficit équivalent à près de 8% du PIB de son secteur automobile en date de 2019; sur la même période, les déficits de la France (-19% à -49%), du Canada (-52% à -83%) et surtout, du Royaume-Uni (-79% à -200%) puis des États-Unis (-128% à -208%) se sont également creusés.

Graphique 44. Dépenses en R&D du secteur automobile pour chaque million de $ de PIB du secteur automobile ($ US constants de 2015)[74]

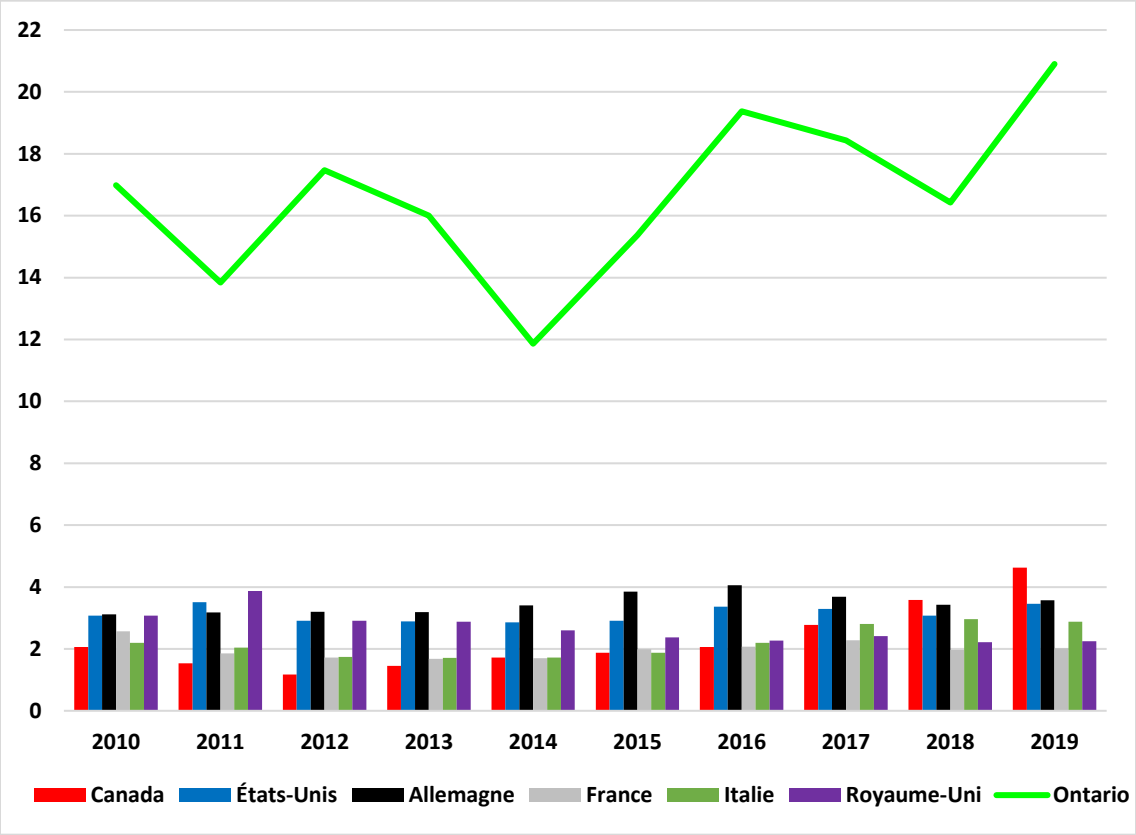


➢ En date de 2019, le Canada et l'Ontario étaient de loin les juridictions investissant le moins, proportionnellement, en R&D dans le secteur automobile. À environ 18 000 $US par dollar de PIB et 16 000 $US par dollar de PIB respectivement, leurs dépenses en R&D étaient largement inférieures à celles des secteurs automobiles chinois (43 400 $US), italien (93 000 $US), américain (149 500 $US), français (173 000 $US), britannique (174 000 $US) et allemand (188 000 $US).

➢ Sans surprise, les dépenses en R&D semblent assez clairement corrélées à la productivité du travail dans cette industrie, l'Ontario et le Canada étant les deux juridictions ayant les plus faibles taux de productivité du travail dans le secteur automobile puis l'Allemagne, la France et les États-Unis, les plus forts taux de productivité.

➢ Il est également à noter que les faibles dépenses en R&D des secteurs ontarien et canadien de l'automobile sont également le miroir des faibles dépenses en R&D manufacturière qui, de manière générale, distinguent l'Ontario et le Canada (mais un peu moins le Québec) des autres grandes puissances économiques recensées.

Graphique 45. PIB du secteur automobile pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur automobile ($ US constants de 2015)[75]



➢ Tout comme pour le secteur manufacturier dans son ensemble, la faible productivité du travail qui caractérise le secteur ontarien de l'automobile s'emble être compensée par une très forte productivité du capital. L'Ontario est ainsi de loin la juridiction dont chaque dollar en formation brute de capital fixe génère le plus de valeur ajoutée, à près de 21 $US (constants 2015) en date de 2019 contre 17 $US en 2010. Ici encore, cela s'explique possiblement en partie par la composition du secteur automobile ontarien, qui concentre en moyenne des entreprises plus grandes et produisant davantage, toutes proportions gardées, que celles des secteurs automobiles français, italien ou américain (l'Allemagne demeurant ici l'exception).

➢ Le Canada dans son ensemble, même si loin derrière l'Ontario, possède aussi un assez bonne productivité du capital dans le secteur automobile : à près de 5 $US de PIB par dollar de formation brute de capital fixe, le Canada se classait en 2019 au second rang parmi les juridictions recensées, devant l'Allemagne (3,6 $US), les États-Unis (3,5 $US) et l'Italie (2,9 $US). Tout comme pour l'Ontario et à l'instar de l'Allemagne puis de l'Italie, la productivité du capital dans le secteur automobile du Canada dans son ensemble a également progressé depuis le début des années 2010.

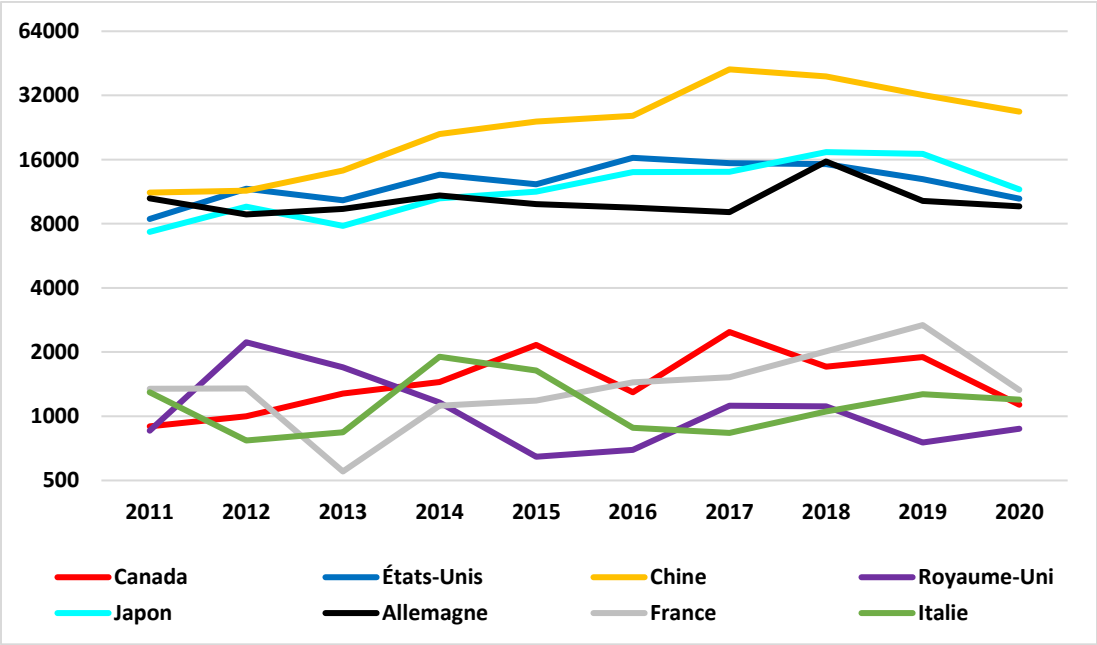
2.1.2. Maturité technologique comparée

Tableau 14. Stock robotique du secteur automobile (ISIC 29, 2020)[76]

Québec	Ontario	Canada	États-Unis	Royaume-Uni	France	Allemagne	Italie	Japon	Chine
213	14 913	18 676	135853	11 693	15 833	114009	13206	120562	256697

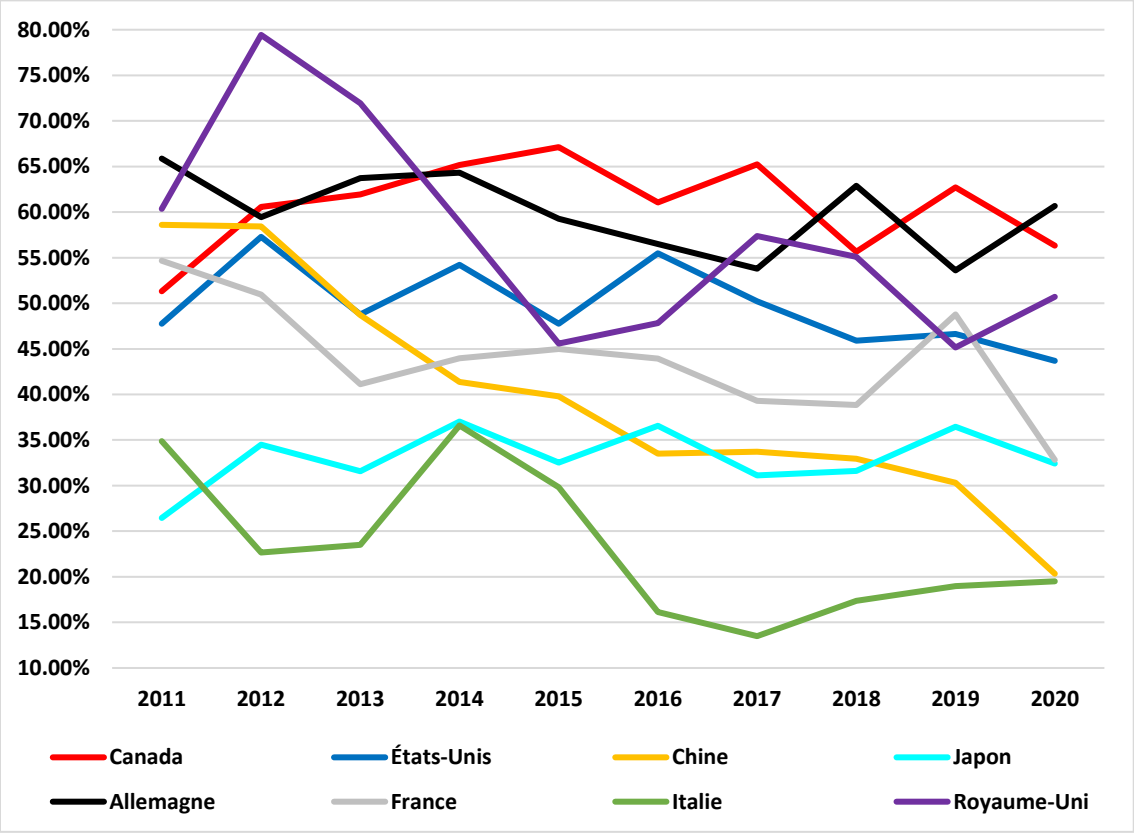
Historiquement, en raison notamment de la croissance forte et prévisible des marchés ainsi que de la forte concurrence entre les constructeurs pour les parts de ces marchés (qui justifiaient donc des investissements importants en R&D ainsi qu'en immobilisations technologiques) mais aussi, en raison des volumes élevés ainsi que de la nature homogène et répétitive caractérisant sa production, le secteur automobile a été parmi les premiers créneaux manufacturiers à s'automatiser et à se robotiser massivement. Alors que, à quelques exceptions près (agroalimentaire, électronique, métallurgie, textile), la robotique industrielle ne s'est véritablement imposée dans la plupart des secteurs qu'à compter de la fin des années 1990, voire des années 2000, le secteur automobile a pour sa part pris le virage de la robotisation dès les années 1980, amorçant donc les décennies 1990 et 2000 avec une forte avance en cette matière sur la majorité des autres créneaux manufacturiers[77]. Encore aujourd'hui, conséquemment, la densité robotique du secteur automobile est, à l'échelle internationale et dans les pays producteurs (Canada, États-Unis, France, Allemagne, Royaume-Uni, Japon, Corée du Sud, Chine), très largement supérieure à la moyenne du reste des secteurs manufacturiers et par conséquent, quoiqu'avec des variations importantes entre ces différents pays producteurs, le secteur automobile concentre encore une assez forte proportion des stocks nationaux de robots industriels en opération.

Graphique 46. Installations de robots industriels du secteur automobile (ISIC 29), par pays (échelle logarithmique)[78]



Il semble toutefois que les choses soient en train de changer. Comme le montre l'évolution des installations annuelles de robots du secteur automobile des grands pays producteurs, le dynamisme ou en tout cas, la forte croissance de la robotisation connue au cours des années 1980, 1990 et 2000 s'est largement estompée, dans certains cas plus qu'ailleurs, depuis une dizaine d'années et, plus particulièrement, au cours des cinq ou six dernières. Bien que la décroissance des installations annuelles observée dans la plupart des pays en 2020 soit essentiellement due aux fermetures d'usines et à l'effondrement de la demande dans la foulée de la crise sanitaire, il demeure néanmoins qu'à l'exception de la Chine (et de la Corée du Sud), le taux de croissance des installations s'est révélé assez modeste tout au long des années 2010. En Chine, les installations sont ainsi passées d'un peu plus de 11 000 à près de 27 000 (avec un sommet à plus de 42 000) entre 2011 et 2020, illustrant la vitalité et la modernisation à marche forcée du secteur automobile chinois (voir notamment le cas particulièremnt évocateur de l'entreprise d'État *Chang'an Automobile*, décrit un peu plus loin). Les États-Unis (8400 à 10 500 avec une pointe au-dessus des 16 000), le Japon (7300 à 11 600 avec un sommet à plus de 17 000), et l'Allemagne (10 500 à 9700 avec un pic à près de 16 000) ont pour leur part continué à se disputer la seconde place du palmarès de la robotisation automobile, alors que les constructeurs de moyenne taille, soit le Royaume-Uni, l'Italie, la France et *le Canada (897 à 1132)* trahissaient eux-aussi une certaine stagnation à cet égard, en particulier au cours de la seconde moitié des années 2010.

Graphique 47. Installations de robots industriels par le secteur automobile (ISIC 29) en % des installations du secteur manufacturier, par pays[79]



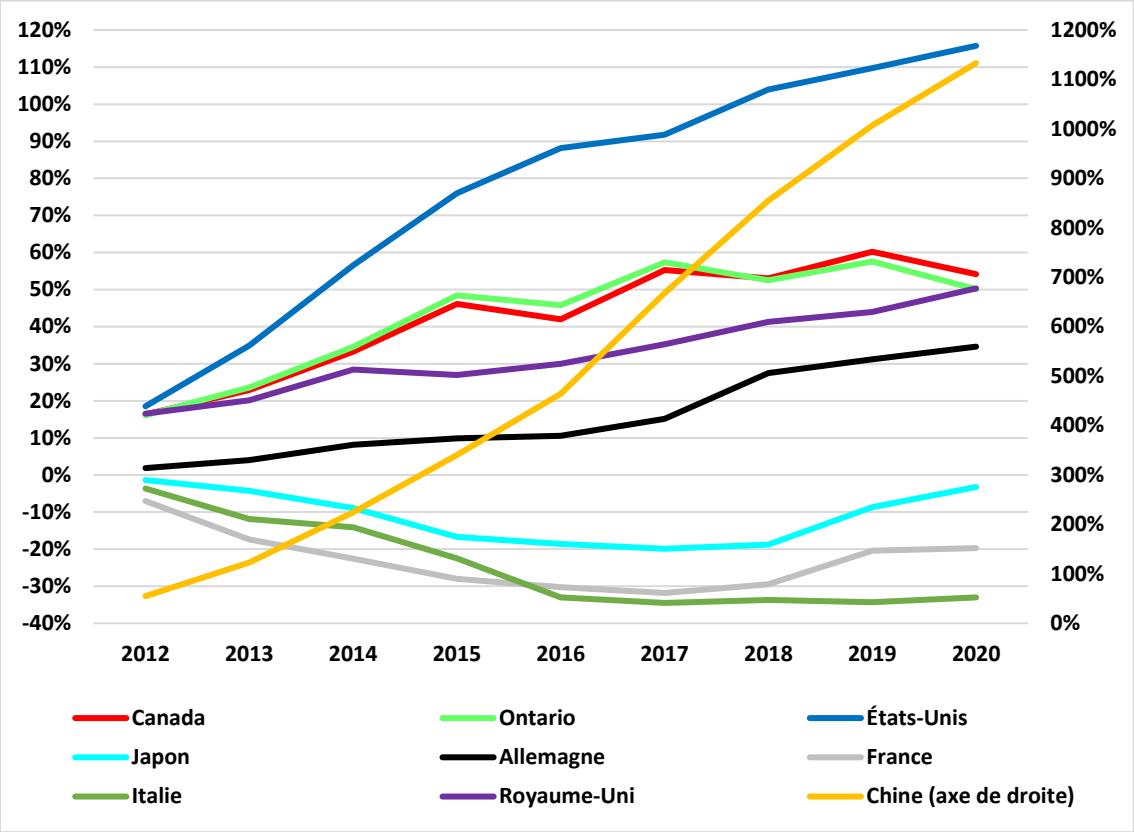
Comme, sauf exceptions, le rythme de croissance des acquisitions/installations de robots industriels par les secteurs automobiles des grands constructeurs, y compris le Canada, a globalement stagné ou ne s'est que légèrement accéléré au cours des dix dernières années alors que, sans avoir explosé, ce rythme s'est accéléré de manière un peu plus soutenue pour l'ensemble des secteurs manufacturiers de ces mêmes pays, il n'est donc pas surprenant de constater que la part des installations annuelles totales de robots industriels représentée par le secteur automobile se soit, dans la majorité des cas, amenuisée depuis le milieu des années 2010. Seul le secteur automobile japonais a, dans l'ensemble, maintenu son poids relatif depuis le milieu des années 2010 tout en l'augmentant même légèrement depuis le début de cette décennie.

À l'inverse, alors qu'elles représentaient de 60% à 80% du total du secteur manufacturier britannique au début des années 2010 par exemple, les installations annuelles de l'industrie automobile du pays n'en représentaient plus en 2020 que 50%. Ce déclin relatif s'observe également du côté de l'Italie (35% à moins de 20%), de la France (55% à moins de 40%) et dans une moindre mesure, de l'Allemagne (65% à entre 55% et 60%). La régression du poids du secteur automobile américain s'est pour sa part fait ressentir surtout à compter du milieu des années 2010, passant des 50%-55% à environ 45% ou moins au cours des dernières années. *En ce qui concerne enfin le Canada, dont le secteur automobile est l'un des plus robotisés du monde, le recul s'est réellement manifesté à compter de 2015, d'un sommet à 67% des installations manufacturières jusqu'à un passage sous les 60% en moyenne entre 2018 et 2020.*

Même la Chine, dont la robotisation du secteur manufacturier en général (et du créneau de l'électronique en particulier) s'est révélée exponentielle au cours des années 2010, a vu le poids relatif des installations de son industrie automobile chuter fortement au cours de cette période, de près de 60% à un peu plus de 20%. Il ne faut toutefois pas s'y tromper : *le secteur automobile demeure dans la plupart des pays producteurs sur la voie d'une robotisation croissante, qui pourrait d'ailleurs s'accélérer à nouveau à court et moyen termes* à mesure que a) les usines d'assemblage existantes se moderniseront et /ou que de nouvelles seront construites pour opérer la transition vers les véhicules électriques et autonomes; b) que les manufacturiers automobiles intégreront la robotique collaborative à leurs processus d'assemblage final, de finition et de contrôle de la qualité; puis c) que les PME et autres fournisseurs de pièces arriveront à se robotiser davantage grâce à la réduction des coûts d'acquisition et de programmation, puis au développement de nouvelles technologies robotiques de plus en plus flexibles et adaptées aux tâches hétérogènes.

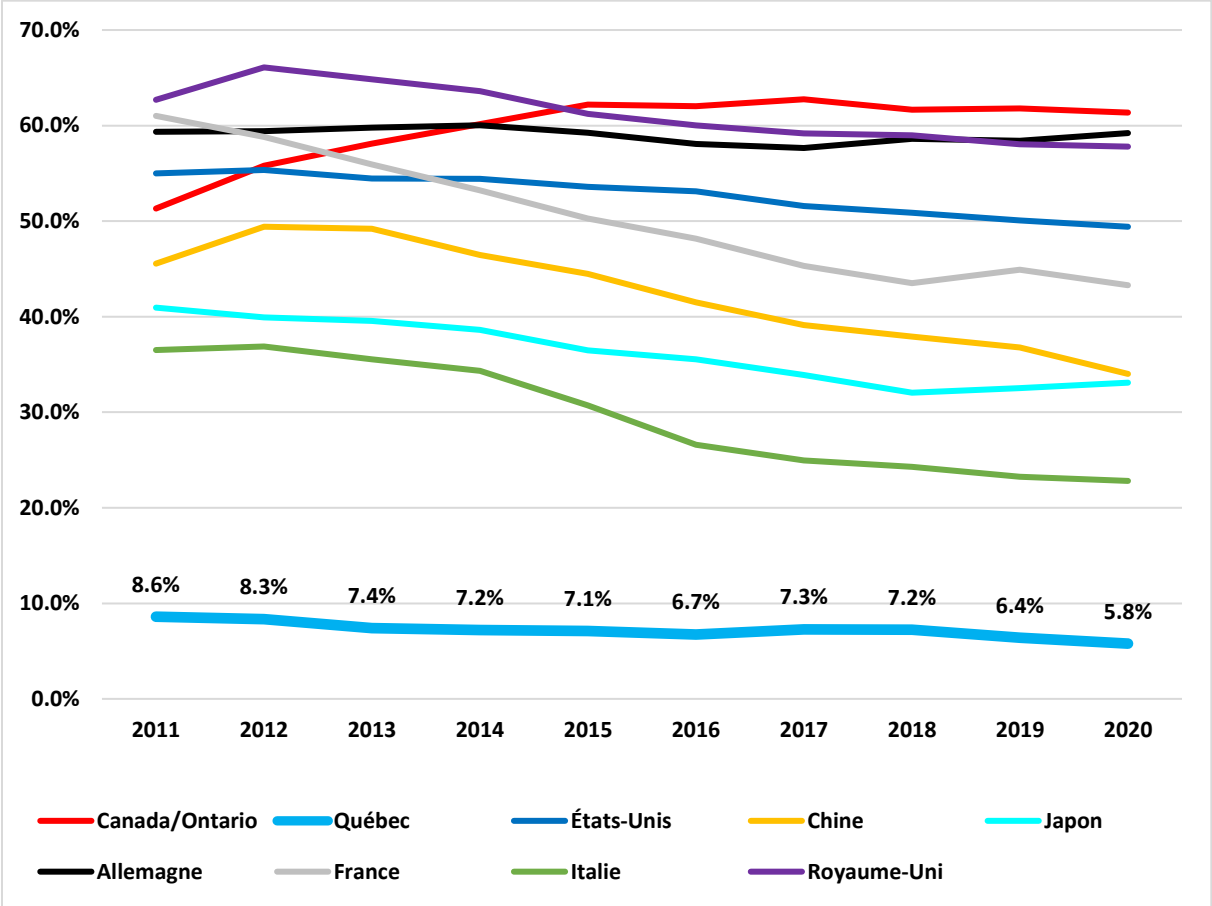
Ainsi, à l'exception de l'Italie, de la France et du Japon, dont les infrastructures sont dans certains cas vieillissantes, dont les stocks robotiques arrivant en fin de vie utile sont plus importants, et dont la délocalisation d'une part de l'industrie automobile ont mené à une décroissance du nombre de robots en opération au cours des années 2010, *les stocks du secteur automobile ont plutôt augmenté significativement dans les pays producteurs : depuis 2011, de 35% en Allemagne, 116% aux États-Unis, plus de 1100% en Chine, et d'environ 50% au Royaume-Uni, au Canada et en Ontario.*

Graphique 48. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur automobile (ISIC 29) (année de référence = 2011)[80]



Derrière la Chine, la Corée du Sud et les États-Unis, l'Ontario (et donc le Canada, dont l'industrie automobile est très fortement concentrée dans cette province) est ainsi l'une des juridictions où la croissance du stock robotique dans le secteur automobile a été la plus forte au cours des dix dernières années. Il faut dire que depuis la crise financière de 2008 et les plans de sauvetage de l'industrie mis en œuvre par les gouvernements fédéral et ontarien, les initiatives et le financement[81] visant à relancer et à moderniser le secteur automobile en Ontario n'ont pas manqué. Sur le plan fédéral, l'Ontario s'est notamment vu attribuer la « supergrappe du manufacturier innovant » (*Next Generation Manufacturing Canada*), basée à Hamilton et dont l'industrie automobile est évidemment un partenaire important. Mais surtout, au niveau provincial, l'Ontario a lancé en collaboration avec l'agence de promotion des investissements *Invest Ontario* une véritable stratégie industrielle d'envergure, visant spécifiquement la modernisation technologique de l'industrie automobile et sa transition accélérée vers les véhicules électriques et autonomes[82]. Le secteur automobile ontarien est d'ailleurs un incontournable : regroupant des constructeurs majeurs comme Ford, GM, Honda, Stellantis et Toyota, l'Ontario est en volume de véhicules produits annuellement (près de 2 millions par année jusqu'en 2019) le deuxième plus grand producteur automobile d'Amérique du Nord, derrière le Michigan mais devant l'Indiana, le Kentucky ou l'Ohio[83].

Graphique 49. Stock de robots industriels opérationnels du secteur automobile (ISIC 29) en % du stock total du secteur manufacturier, par pays[84]

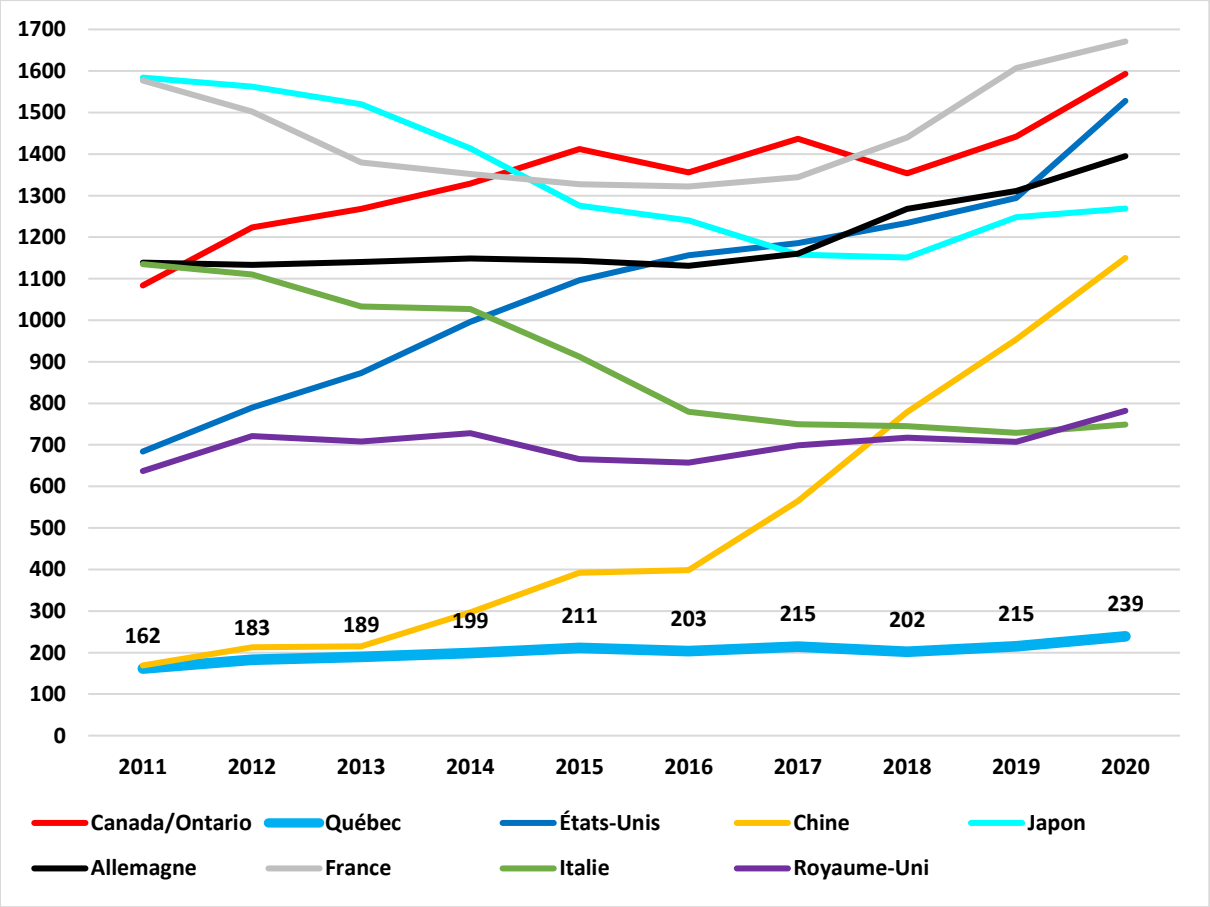


Cela permet de mieux comprendre le poids qu'occupe l'industrie automobile canadienne (et donc, ontarienne) non seulement dans l'économie du pays mais plus précisément dans le stock total des robots industriels en opération à travers le secteur manufacturier du pays. Comme on peut le voir, *le Canada est devenu durant la second moitié des années 2010 le pays producteur au sein duquel l'industrie automobile concentre la plus grande proportion des robots industriels en opération dans le secteur manufacturier. Cette proportion est en effet passée d'un peu plus de 50% en 2011 à plus de 60% en 2020; cela permet également de mieux comprendre pourquoi l'Ontario, qui concentre toutes les usines d'assemblage du pays, possède une densité robotique manufacturière si élevée. Par contraste, l'industrie automobile du Québec se limite essentiellement au secteur des pièces mais ne comprend plus d'usine d'assemblage et est par conséquent très largement moins robotisée que ne le sont les secteurs automobiles complets et intégrés des pays producteurs. Selon nos estimations, l'industrie des pièces automobiles québécoise ne concentre pas plus de 6% des robots en opération dans le secteur manufacturier de la province, une part d'ailleurs en léger déclin depuis une dizaine d'années*[xiii].

[xiii] Voir la note attenante au graphique pour les détails de la méthodologie utilisée en ce qui concerne le Québec.

Si la comparaison entre le Québec et les principaux producteurs automobiles du monde n'est donc pas particulièrement pertinente (nous l'évoquons à titre illustratif), la comparaison entre le Canada et ses principaux concurrents dans ce secteur est à l'inverse assez évocatrice. Ainsi, en date de 2020 seuls le Royaume-Uni (58%) et l'Allemagne (59%) se rapprochaient du Canada en termes de concentration des robots industriels par le secteur automobile, alors que les États-Unis (49%), la France (43%), la Chine (34%), le Japon (33%) et l'Italie (23%) ont plus ou moins fortement déconcentré leur stock robotique grâce à la modernisation accélérée d'autres secteurs manufacturiers. *L'indicateur de densité robotique des secteurs automobiles brosse pour sa part un portrait un peu plus contrasté, bien que le Canada demeure en date de 2020, sans surprise, parmi les leaders mondiaux à près de 1600 robots/10,000 employés contre 2750 en Corée du Sud, 1671 en France, 1528 aux États-Unis, 1395 au Japon et désormais, 1150 en Chine, dont le secteur automobile s'est robotisé à vitesse grand V depuis le milieu des années 2010. Ici encore, la comparaison avec le Québec n'est offerte qu'à titre illustratif, ce dernier ne pouvant compter à l'échelle provinciale sur aucune usine d'assemblage contrairement aux grands pays producteurs*.

Graphique 50. Densité robotique du secteur automobile (ISIC 29) par pays (robots opérationnels/10,000 employés)[85]



Étude de cas #3 : Chang'an Automobile (Liangjiang, Chongqing, Chine)

Manufacturier automobile de propriété publique, filiale du holding d'État *China South Industries Group Corporation* (CSGC)

Création : 1862 (volet militaire); 1956-57 (volet civil); 1984 (automobiles pour le marché civil)
Co-entreprises : Chang'an Mazda, Chang'an Ford, Avatr Technology (avec Huawei)
Production en 2021 : 1 900 000 voitures
Production totale (en date de 2022) : 20 millions de voitures

Innovation : établissement d'une usine intelligente entièrement automatisée à Chongqing

La Chine est depuis près de dix ans le premier marché mondial en matière d'installations annuelles de robots industriels. Au cours des dernières années, de 100 000 à 130 000 robots ont été installés chaque année par les différents secteurs manufacturiers chinois. Avec ses quelques 755 000 robots industriels en opération dans le secteur manufacturier (2020), l'immense secteur de la fabrication chinois est désormais loin devant le Japon (364 000), la Corée du sud (305 000) ou les États-Unis (275 000). La Chine est également un important fabricant de robots industriels (QJAR-EVS, Siasun, Estun, Efort, Jaka Robot, Honyen, STEp, Huashu, STS, GSK, etc.), dont le plus gros de la production (près de 170 000 unités en 2020) est destiné au marché intérieur[86]. Au cours des dernières années, un peu plus du tiers des robots industriels installés en Chine étaient « *Faits en Chine* »[87].

Toutes proportions gardées cependant, la densité robotique du secteur manufacturier chinois demeure, à 246 robots/10,000 employés, inférieure à celle des États-Unis (255), de l'Allemagne (371), du Japon (390), de Singapour (605) ou de la Corée du Sud (932). La Chine a donc encore du retard à rattraper, et ce y compris dans le secteur qui, comme dans tous les grands pays producteurs, est le plus robotisé de tous : celui de l'automobile. En 2020, la densité robotique du secteur automobile chinois atteignait ainsi les 1150 robots/10,000 employés, contre 1269 au Japon, 1395 en Allemagne, 1593 au Canada, 1528 aux États-Unis, 1671 en France et 2750 en Corée. La densité robotique du secteur automobile chinois est cependant celle dont la croissance a été de loin la plus rapide au cours des dix dernières années, étant passée de seulement 169/10,000 en 2011 à 1150/10,000 en 2020[88].

Le constructeur automobile Chang'an, de propriété publique, illustre bien la très forte poussée technologique du secteur. Entre le début de sa production d'automobiles pour le marché civil, en 1984, et le tournant des années 2000, Chang'an n'avait produit au total qu'environ un million de véhicules; entre 2001 et 2014, plus de 9 millions et enfin depuis 2014, un autre dix millions. La croissance du rythme de production de la marque, dont les véhicules sont commercialisés dans une cinquantaine de pays et qui a également développé des *joint-ventures* avec Mazda et Ford pour les marchés chinois et asiatiques, a donc été exponentielle. Chang'an possède plus d'une vingtaine d'usines réparties à travers la Chine mais également en Russie et au Pakistan, notamment. La marque est toutefois surtout réputée pour sa **tradition**

d'innovation, consacrant plus de 5% de ses revenus bruts à la R&D; elle possède d'ailleurs des centres de R&D partout en Chine mais aussi en Italie, au Japon, en Allemagne, au Royaume-Uni et même aux États-Unis[89].

Chang'an commercialise aujourd'hui une vingtaine de modèles de véhicules dont trois pleinement électriques, de l'ultracompacte au VUS pleine grandeur. Parmi ses sites de production principaux, la ville de Chongqing et en particulier, la « nouvelle zone » économique du Liangjiang, grappe de parcs industriels et hub d'innovation manufacturière mis en place par le gouvernement chinois (notamment via la *Chongqing Liangjiang New Area Development & Investment Group Co., Ltd.*), se démarquent. Plusieurs constructeurs automobiles (le coréen Hyundai, notamment) ont élu domicile dans cette nouvelle zone d'innovation industrielle, mais Chang'an, en particulier, y possède l'une des usines de production automobile parmi les plus automatisées et modernes du monde. Sa « *Liangjiang Second Factory* » a été conçue sur la base du concept du « manufacturier intelligent » et a valu à Chang'an le titre de premier constructeur automobile reconnu par le Ministère de l'Industrie chinois en tant que « *National Intelligent Manufacturing Demonstration Enterprise* »[90].

Le taux de robotisation de tous les processus de soudure atteint par exemple, dans cette usine à la fine pointe (qualifiée d'« usine phare » ou « *Lighthouse factory* »), les 90% et en comparaison des moyennes nationales pour les constructeurs automobiles, les coûts de production y ont été réduits de plus de 20% et les délais d'exécution, de plus de 15%[91]. D'autres volets de la production ont même été automatisés à pratiquement 100%, comme ceux des systèmes de contrôle du couple ou de la peinture. L'utilisation massive de technologies robotiques adaptatives – tels que les systèmes *FlexLean* et *GateFramer* d'*ABB Robotics*, par exemple – ainsi que l'implantation de logiciels avancés d'intelligence artificielle, d'analyse des données massives et d'interconnexion des équipements via la 5G permettent à cette usine de Chang'an d'adapter ses chaînes de montage en temps réel et d'alterner sa production rapidement entre quatre modèles de véhicules différents, en fonction des fluctuations de la demande[92].

Les véhicules de la marque Chang'an sont d'ailleurs eux-mêmes « intelligents », intégrant une panoplie de technologies d'autonomisation (conduite et stationnement), de connexion et gestion des données (grâce à plusieurs collaboration avec des géants technologiques tels que *WeChat*, *Huawei* ou *Tencent*), puis de réduction des émissions[93]. Les usines de Chang'an mettront par ailleurs fin à leur production de véhicules à combustion dès 2025, en accord avec la politique du gouvernement chinois qui bannira les véhicules à essence vers le milieu de la décennie 2030. Chang'an a annoncé vouloir commercialiser d'ici 2025 une vingtaine de modèles électriques et accroître d'ici-là ses ventes annuelles dans cette catégorie à plus d'un million de véhicules (soit environ 35% des ventes totales)[94].

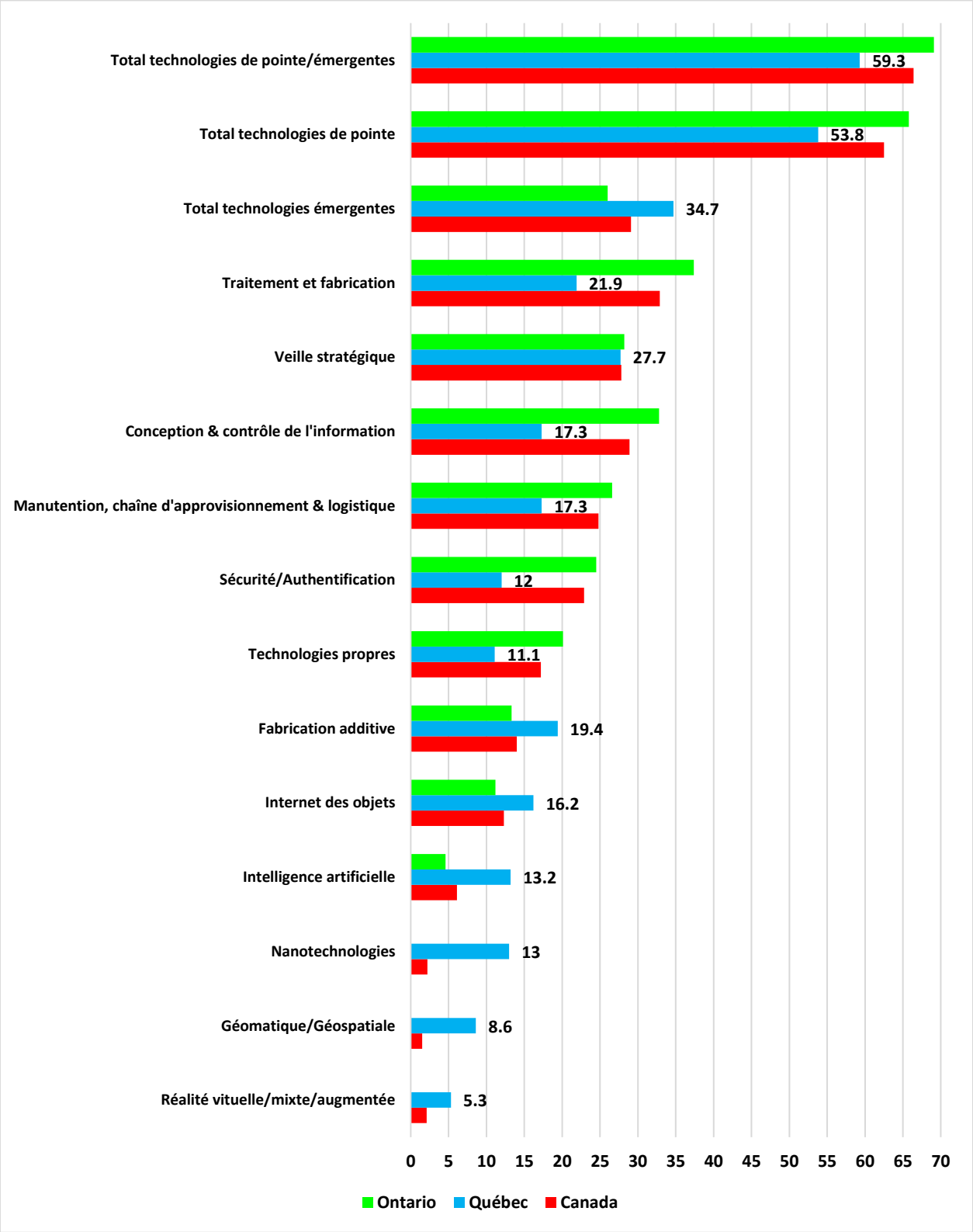
Afin de pouvoir offrir quelques comparatifs plus évocateurs en ce qui concerne le Québec, nous avons également pu recenser, via Statistique Canada, l'utilisation des technologies de pointe/3.0. et émergentes/4.0. par le secteur plus particulier de la fabrication de pièces pour véhicules automobiles, et ce pour l'Ontario, le Canada dans son ensemble et le Québec. Ici encore toutefois, les comparaisons sont à considérer avec prudence, puisque la forte concentration de l'industrie automobile intégrée en Ontario a évidemment pour effet de stimuler également, dans cette province, la modernisation technologique du créneau des pièces tout en gonflant par le fait même superficiellement, dans une certaine mesure, les moyennes canadiennes.

Cela étant dit, ces données permettent néanmoins certaines observations intéressantes, qui confirment d'ailleurs en partie les constats posés au chapitre précédent sur la maturité technologique des secteurs manufacturiers québécois, ontarien et canadien de manière générale. En effet, on peut notamment noter d'entrée de jeu que *si l'industrie québécoise des pièces pour véhicules automobiles semble accuser un certain retard en matière d'utilisation des technologies d'automatisation et de numérisation 3.0., elle fait en revanche montre d'une légère avance quant à l'adoption des technologies émergentes/4.0., à l'exception notable, encore une fois, des technologies propres*.

Si on s'attarde en effet aux différentes classes technologiques plus en détail, on peut effectivement noter que *tant en ce qui concerne les technologies de traitement et de fabrication (y incluant la robotique) que les systèmes de conception et de contrôle de l'information, les technologies de manutention et de gestion logistique, ou les logiciels de sécurité et d'authentification, le retard du secteur québécois des pièces automobiles est assez marqué, soit d'une bonne dizaine de points de pourcentage ou plus*. Contrairement au secteur manufacturier plus généralement, toutefois, ce dernier créneau québécois semble être aussi avancé que ses pendants ontarien et canadien quant à l'utilisation d'outils de veille stratégique, rapportée par environ 28% des entreprises.

L'industrie québécoise des pièces automobiles, par ailleurs, a accumulé une avance non-négligeable pour l'intégration de bon nombre de technologies émergentes, dont l'impression 3D (19% contre 13% en Ontario et 14% au Canada), l'Internet des objets (16% contre 11% et 12%) et, de manière encore plus marquée, l'intelligence artificielle (13% contre 5% et 6%), les nanotechnologies (13% contre de 0% à 2%), la géomatique/géospatiale (9% contre 0% et 1,5%) ou la réalité virtuelle (5% contre 0% et 2%). Les causes (certainement multiples) de cette avance partielle seraient à éclaircir, mais il est vraisemblable que le développement de la filière de pointe du transport électrique au cours des dernières années, de même que la restructuration stratégique de l'industrie dans la foulée de la fermeture de l'usine GM de Boisbriand en 2002, aient stimulé la modernisation technologique du secteur, très majoritairement composé de PME et conséquemment moins perméable à la robotisation de masse.

Graphique 51. Part (%) des entreprises manufacturières du secteur de la fabrication de pièces pour véhicules automobiles utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes (2019)[95]



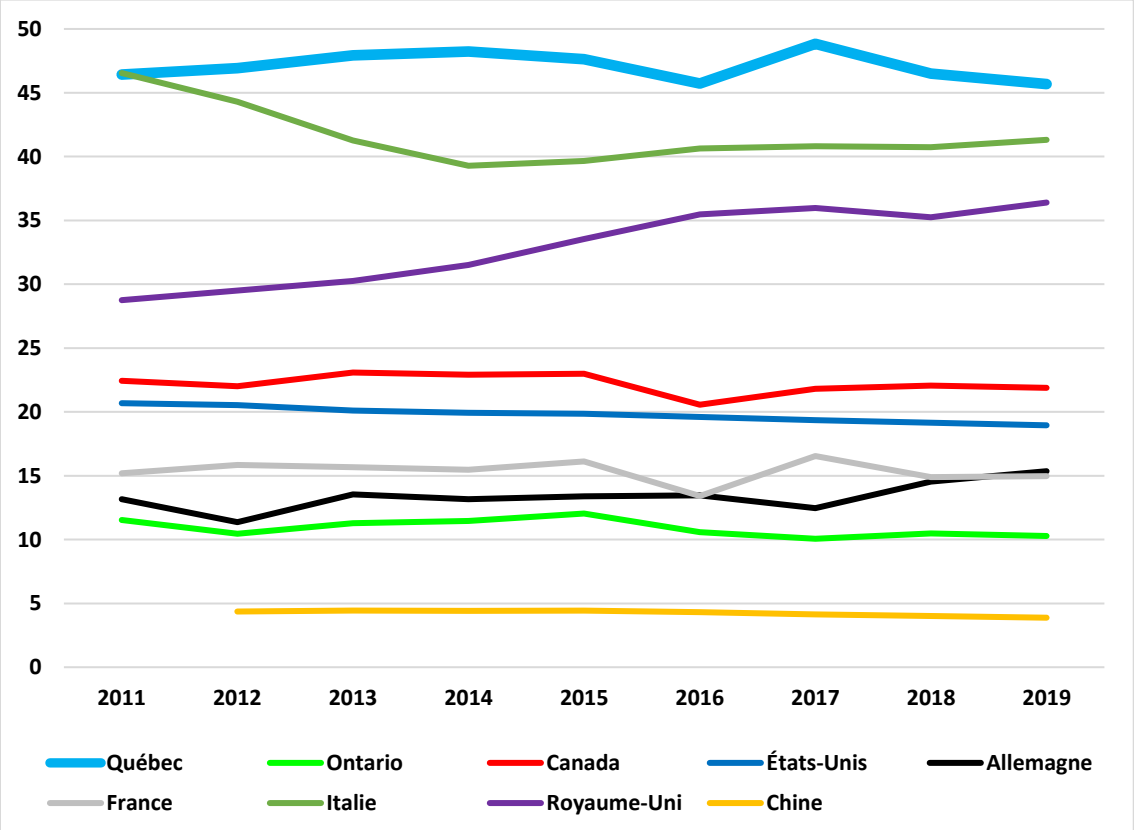
2.2. Le secteur aéronautique et autres matériels de transport

2.2.1. Caractéristiques économiques comparées

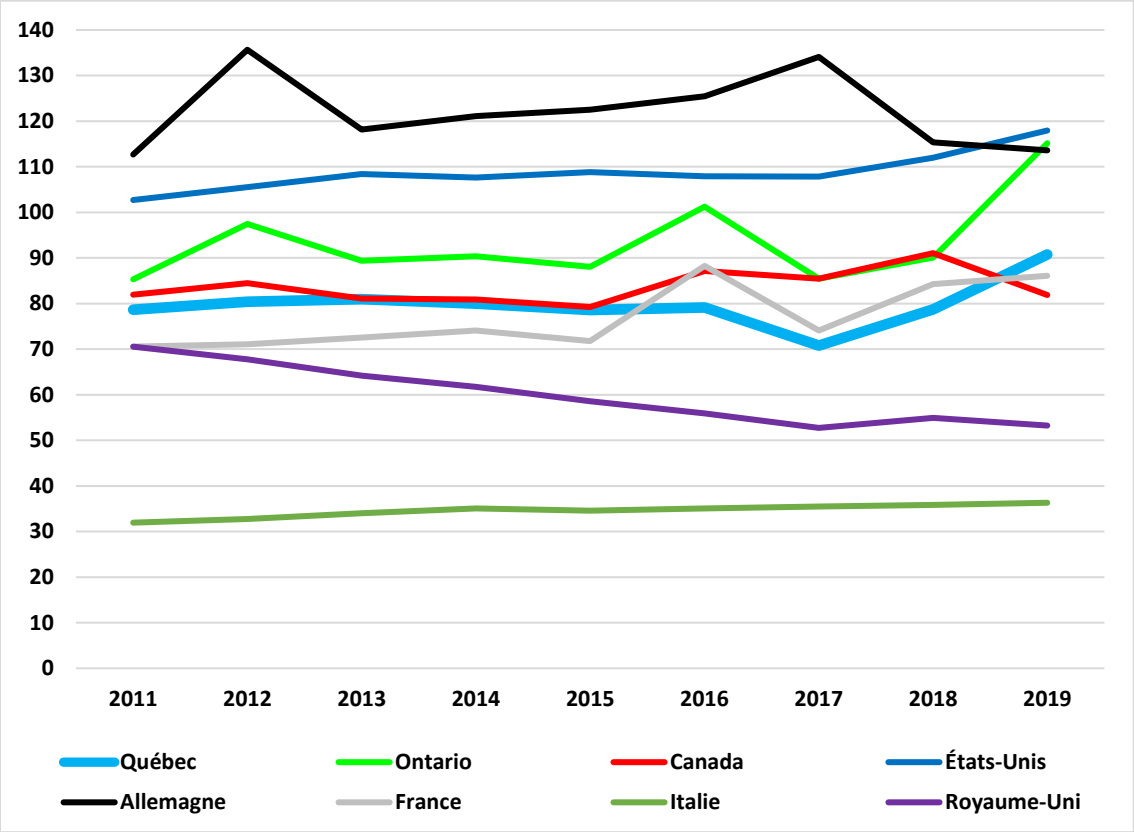
➢ Dans le secteur aéronautique et des autres matériels de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs), le Québec se démarque clairement avec plus de 45 entreprises par million d'habitants (2019), un nombre à peu près stable depuis le début des années 2010. Le Québec occupe ainsi, parmi les juridictions recensées, le premier rang en matière de densité d'entreprises dans ces secteurs, tout juste devant l'Italie (41 entreprises par millions d'habitants en 2019) et le Royaume-Uni (36) mais loin devant le Canada dans son ensemble (22), les États-Unis (19) ou même la France (15) et l'Allemagne (15).

➢ Cette densité particulièrement importante au Québec témoigne évidemment de l'importance centrale du secteur aéronautique concentré dans la province; en comparaison, l'Ontario ne possède dans ces secteurs que dix entreprises par million d'habitants, ne surpassant que la Chine où la densité d'entreprises est extrêmement faible (4 par million d'habitants).

Graphique 52. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteur aéronautique et autres matériels de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs)[96]



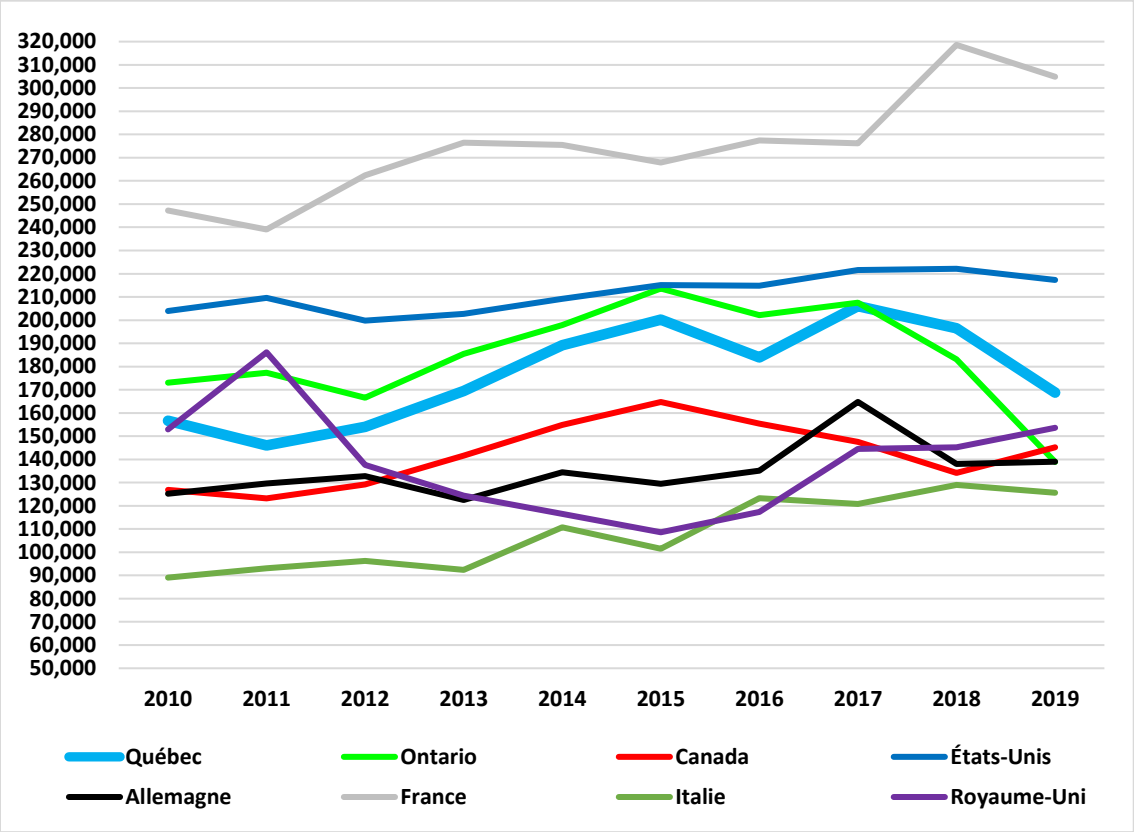
Graphique 53. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur aéronautique et autres matériels de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs)[97]



➢ Si le Québec est, parmi les économies recensées, celui dont la densité d'entreprises est la plus élevée dans les secteurs de l'aéronautique et des autres matériels de transport, la taille moyenne de ses entreprises est en revanche en milieu de peloton. Étant passée d'environ 79 employés par entreprises en 2011 à un peu plus de 90 en 2019, la moyenne québécoise se retrouvait ainsi, pour 2019, derrière celles des États-Unis (118 employés par entreprise), de l'Allemagne (114) ou même de l'Ontario (115), qui possède donc relativement peu d'entreprises, mais de grandes entreprises dans ces secteurs.

➢ La moyenne d'emplois par entreprise dans les secteurs québécois de l'aéronautique et autres matériels de transport est cependant toujours supérieure aux moyennes française (86), canadienne (82), britannique (53) et italienne (36). Dans le cas du Royaume-Uni, on remarque une tendance à la baisse du nombre d'employés par entreprise malgré une hausse conséquente du nombre d'entreprises par million d'habitants depuis le début des années 2010; il semble donc que les secteurs britanniques de l'aéronautique et des autres matériels de transport aient vu une multiplication des PME au cours de la dernière décennie.

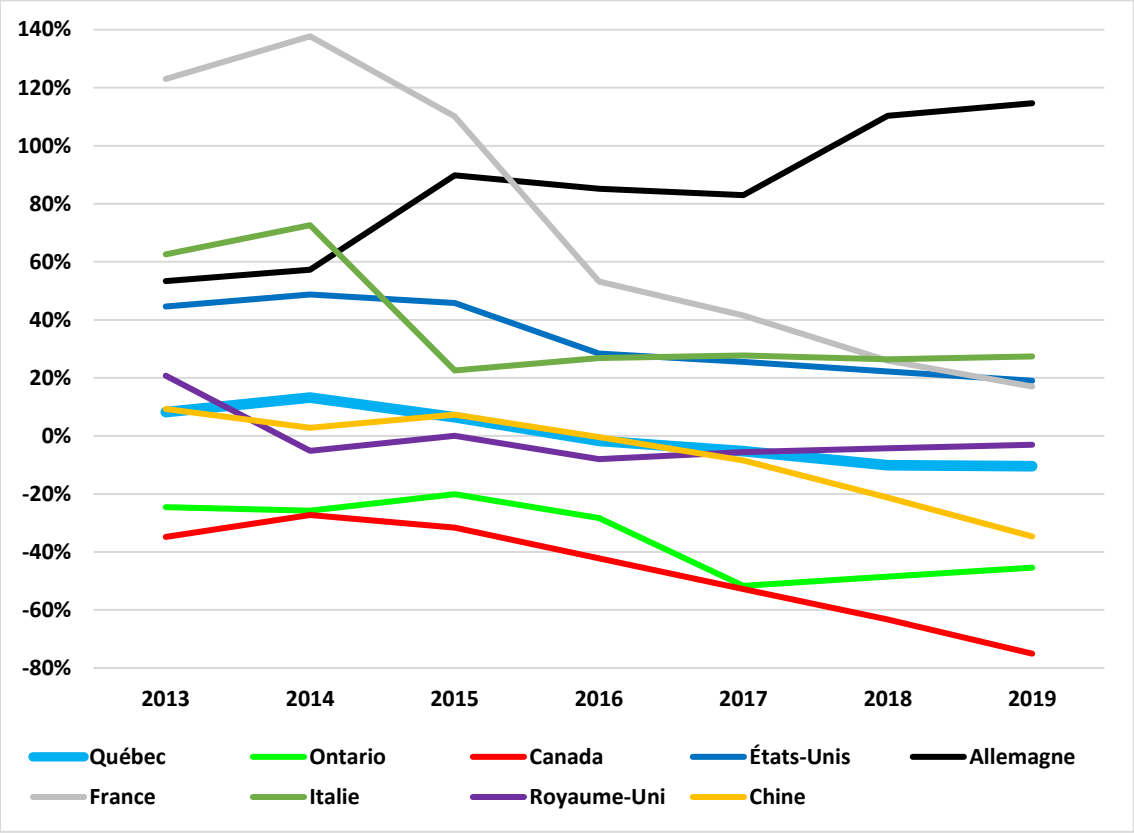
Graphique 54. PIB par emploi, secteur aéronautique et autres matériels de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs) ($US constants de 2015)[98]



➢ Malgré une légère décroissance entre les années 2017 et 2019, on note une tendance générale à la hausse de la productivité du travail, au cours des années 2010, pour les secteurs québécois de l'aéronautique et autres matériels de transport, à l'instar d'ailleurs de la plupart des autres économies recensées (à l'exception du Royaume-Uni). On remarque également que la productivité du travail dans ces secteurs est assez largement supérieure à celle du manufacturier dans son ensemble : en 2019, elle atteignait près de 169 000 $US par emploi, contre tout juste 100 000 $US pour le secteur manufacturier agrégé.

➢ Contrairement à sa productivité manufacturière globale, la productivité du travail québécoise dans les secteurs de l'aéronautique et autres matériels de transport est également dans la fourchette supérieure des économies recensées : à 169 000 $US par emploi en moyenne, elle se situe derrière la France (305 000 $US), loin devant, mais aussi derrière les États-Unis (217 000 $US). En revanche, le Québec fait mieux à cet égard que l'Ontario et le Canada, puis mieux que le Royaume-Uni, l'Allemagne et l'Italie.

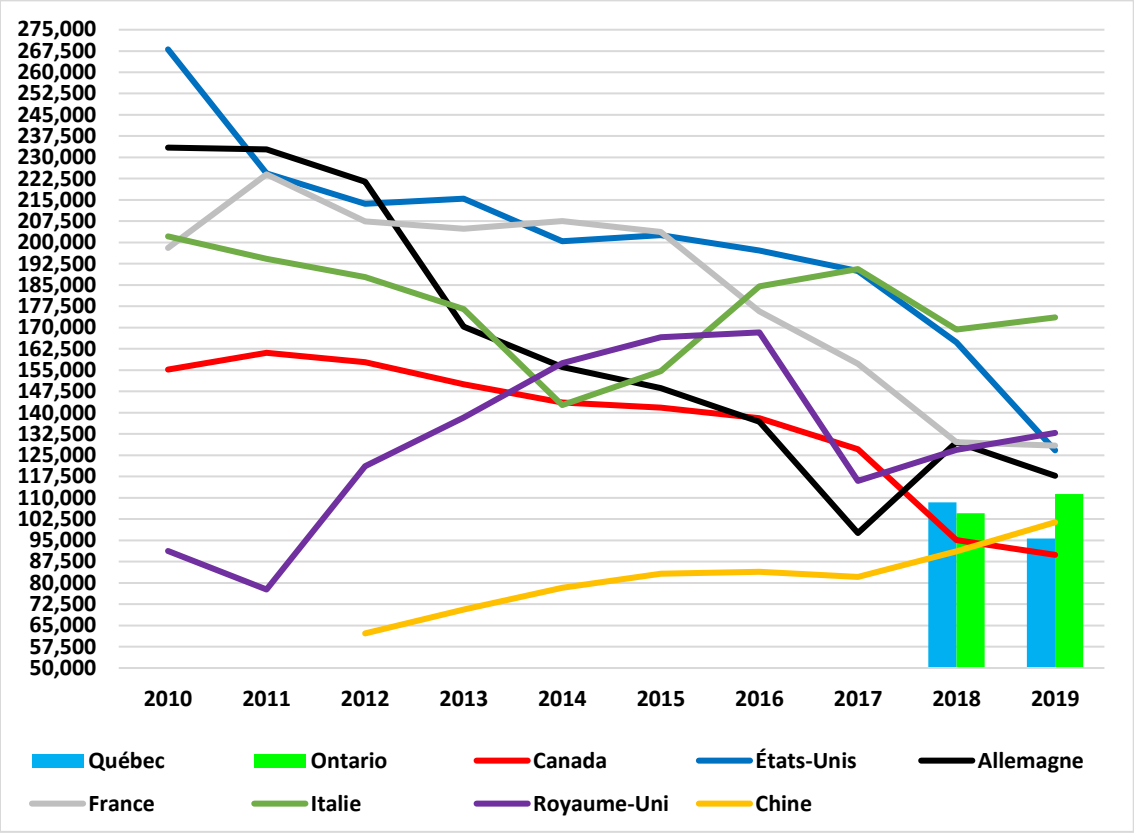
Graphique 55. Valeur de la balance commerciale du secteur aéronautique et autres matériels de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs) en % du PIB du secteur aéronautique et autres matériels de transport[99]



➢ À l'instar du secteur automobile, on note dans les secteurs de l'aéronautique et autres matériels de transport une tendance généralisée au déclin des soldes commerciaux relatifs depuis le début des années 2010; seule l'Allemagne fait ici exception, alors que son surplus commercial s'est apprécié, en % du PIB du secteur, passant de +53% à + 115% entre 2013 et 2019. À part l'Allemagne, seuls trois autres pays génèrent encore dans ces secteurs des surplus commerciaux, soit l'Italie, les États-Unis et la France

➢ Le Québec ne fait pas exception à la règle dans ces secteurs et a vu un léger surplus commercial (13% du PIB du secteur en 2014) se transformer en un léger déficit (-10% du PIB du secteur en 2019). Néanmoins, le déficit commercial du Québec dans ces secteurs demeure peu significatif en proportion du la production, tout comme c'est le cas du déficit britannique (-3% du PIB sectoriel en 2019). La Chine, l'Ontario et le Canada génère toutefois de plus forts déficits dans ces secteurs, à -35%, -45% et -75% de leurs PIB sectoriels respectifs.

Graphique 56. Dépenses en R&D du secteur aéronautique et autres matériel de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs) pour chaque million de PIB du secteur aéronautique et autres matériels de transport ($ US constants de 2015)[100]

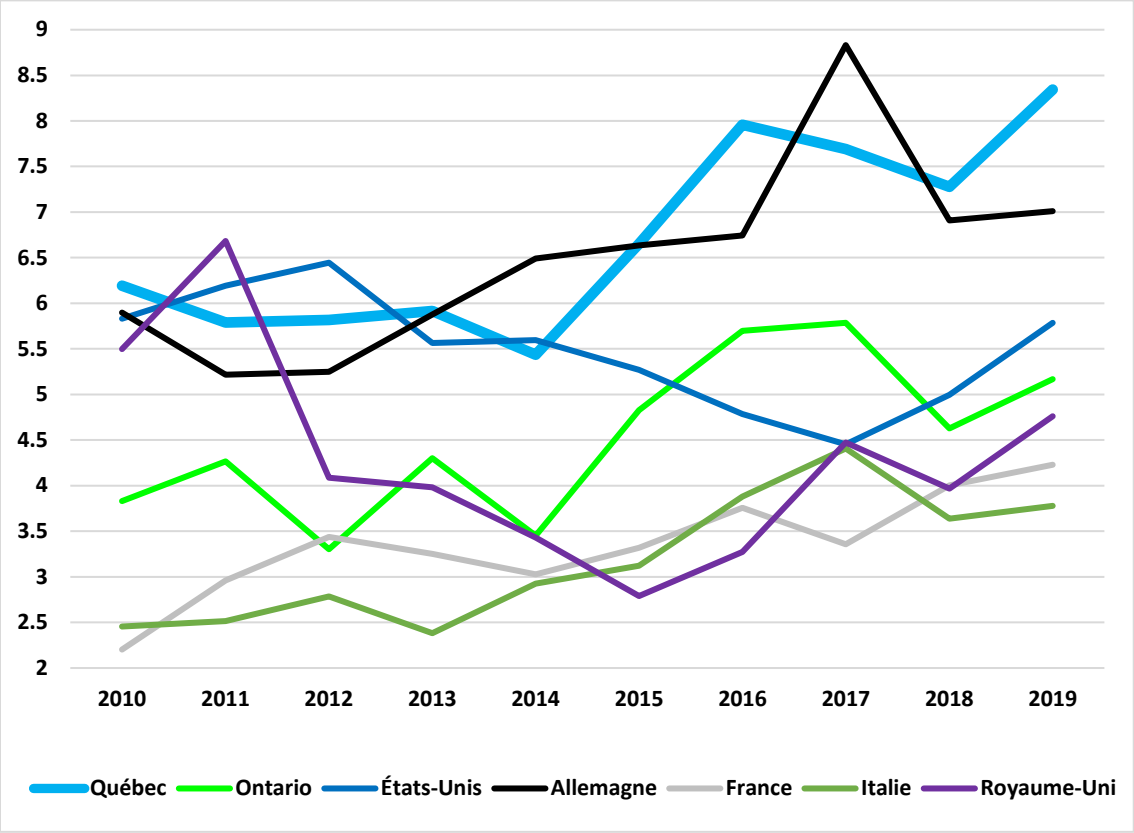


➢ De manière générale, on note dans les secteurs de l'aéronautique et autres matériels de transport une forte tendance à la baisse des dépenses de R&D au cours des années 2010. La seule exception à cette règle semble être la Chine, dont les dépenses de R&D dans ces secteurs ont augmenté, en proportion du PIB sectoriel, entre 2012 et 2019.

➢ Bien que le Québec, dans les secteurs de l'aéronautique et autres matériels de transport, dépense encore davantage en R&D (95 630 $US par million de $US de PIB en 2019) que le Canada ou la Chine, ces dépenses demeurent assez faibles en comparaison des autres économies recensées. Le Québec se retrouve donc pour cette mesure derrière l'Allemagne (118 000 $US), les États-Unis (127 000 $US), la France (128 000 $US), le Royaume-Uni (133 000 $US) et l'Italie (174 000 $US).

➢ On note cependant que le Québec (tout comme les autres juridictions recensées) dépense beaucoup plus, toutes proportions gardées, en R&D dans ces secteurs de l'aéronautique et autres matériels de transport que dans le secteur manufacturier en général.

Graphique 57. PIB du secteur de l'aéronautique et autres matériel de transport (ferroviaire, naval, véhicules récréatifs) pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur de l'aéronautique et autres matériel de transport ($ US constants de 2015)[101]



➢ En comparaison des autres pays recensés, la productivité du capital québécoise dans les secteur de l'aéronautique et autres matériels de transport est particulièrement élevée. À plus de 8 $US de PIB par dollar de formation brute de capital fixe en date de 2019, le Québec surpasse pour cette mesure l'Allemagne (7 $US), les États-Unis (5,8 $US), l'Ontario (5,2 $US), le Royaume-Uni (4,8 $US), la France (4,3 $US) et l'Italie (3,8 $US).

➢ La productivité du capital québécoise dans ces secteurs de l'aéronautique et autres matériels de transport surpasse également celle du secteur manufacturier dans son ensemble (6,6 $US par dollar de formation brute de capital fixe). Elle est de surcroît en croissance depuis le milieu des années 2010, étant passée de 5,4 $US en 2014 à plus de 8,3 $US en 2019. L'Allemagne, la France, l'Italie et l'Ontario ont aussi connu, au cours des années 2010, une croissance de leur productivité du capital dans ces secteurs.

2.2.2. Maturité technologique comparée

Tableau 15. Stock robotique du secteur aéronautique et autres matériels de transport, (ISIC 30, 2020)[102]

Québec	Canada	États-Unis	Royaume-Uni	France	Allemagne	Italie	Japon	Chine
151	156	1162	302	776	753	188	2441	5064

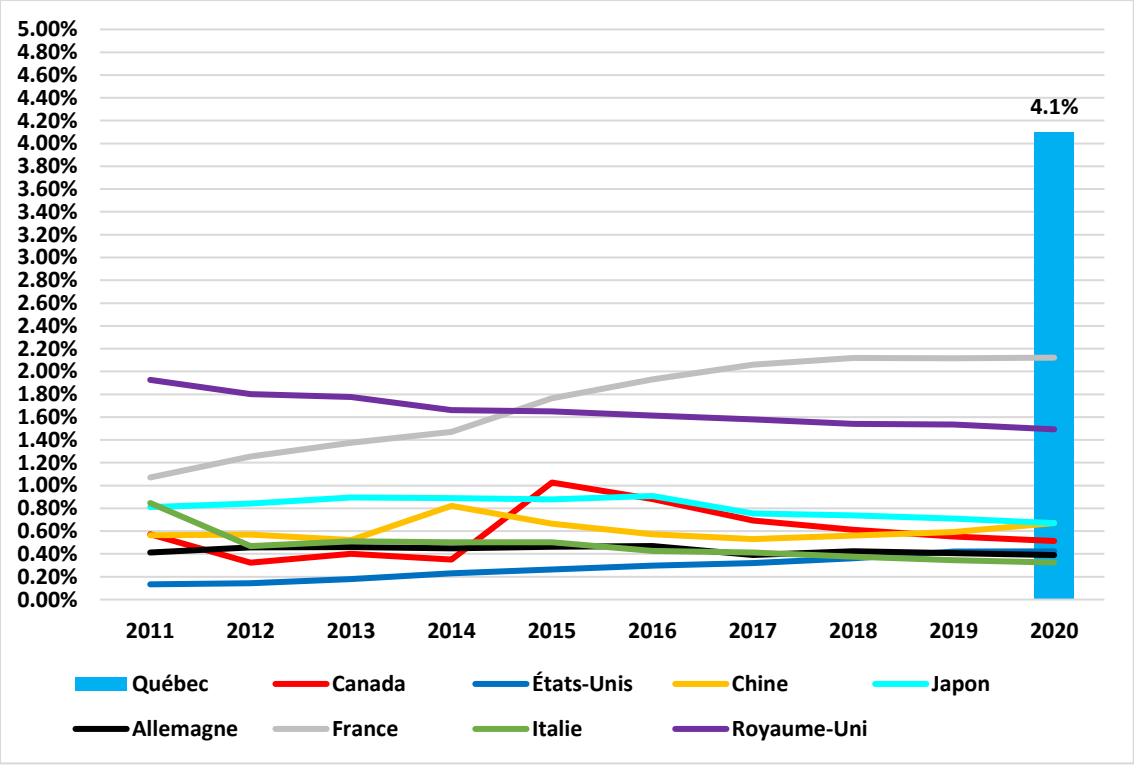
Si le Québec n'est à l'évidence pas une puissance de l'industrie automobile – malgré quelques percées intéressantes dans le domaine plus particulier des véhicules électriques – la situation est certainement tout autre en ce qui concerne le secteur de l'aéronautique. En date de 2021, le Québec comptait en effet pour plus de 60% des emplois totaux du secteur à travers le Canada – contre un peu plus de 20% pour l'Ontario. Cela en fait l'un des plus importants secteurs de la fabrication dans la province, tout juste derrière ceux de l'agroalimentaire, des produits métalliques (qui contribue lui aussi de façon importante à la fourniture de matériaux et de pièces pour l'aéronautique), de la machinerie et des produits du bois. La grappe québécoise de l'aéronautique embauche ainsi deux fois plus de gens que tous les autres secteurs du matériel de transport combinés (carrosseries et pièces automobiles, autobus, industries ferroviaire et navale, véhicules récréatifs) et ses entreprises de classe mondiale – pensons à *Bombardier* mais également aux *Bell Helicopter Textron*, *Airbus*, *Pratt & Whitney*, *Mitsubishi*, *Héroux-Devtek*, *Générale Électrique*, *Rolls-Royce*, *Thales*, *Messier-Bugatti-Dowty* [Groupe Safran], *Mecachrome* et autres) – en font l'un des principaux moteurs d'innovation et d'exportation du manufacturier québécois. *L'industrie de l'aérospatiale est en effet, au Québec, le seul secteur manufacturier de haute-technologie générant systématiquement, année après année, une balance commerciale positive* (entre 3 et 6 milliards $ en moyenne depuis quinze ans)[103].

Selon les données fournies par la grappe *AéroMontréal*, en fait, l'industrie aérospatiale est carrément le premier moteur d'exportation du secteur manufacturier québécois, en représentant plus de 10% des exportations totales; 75% de la production de cette industrie est ainsi destinée à l'exportation internationale, ce qui représentait en 2021 près d'une douzaine de milliards $ en ventes totales à l'extérieur du pays. Mais surtout, le Québec étant devenu sans équivoque la plaque tournante de cette industrie à l'échelle canadienne, *le secteur aéronautique québécois – et la grappe montréalaise en particulier – concentre carrément plus de 70% des investissements en R&D réalisés annuellement dans ce créneau au Canada*. Par ailleurs, le secteur aérospatial québécois (et les autres secteurs du matériel de transport également) n'est évidemment pas composé que des grandes multinationales citées plus haut mais d'un véritable écosystème de fournisseurs et de sous-traitants, pour la plupart des PME : *AéroMontréal* fait pour sa part état de pas moins de 230 entreprises composant ce secteur au Québec. La maturité technologique de ces entreprises demeure certainement inégale mais de manière générale, les statistiques comme les études de cas (voir par exemple le cas du fabricant de composants aérospatiaux de haute précision *Leesta*, recensé plus loin) permettent de montrer que des efforts de modernisation sont à l'œuvre et surtout, que le

Québec n'a dans ce secteur rien à envier aux entreprises du reste du Canada, de l'Amérique du Nord ou même de l'Europe et de l'Asie.

Comme le montrent néanmoins les stocks de robots industriels opérationnels des secteurs de l'aéronautique et du matériel de transport hors-automobiles à l'échelle des économies avancées, ces secteurs ne représentent qu'une part relativement marginale des mouvements d'automatisation ayant caractérisé le secteur manufacturier dans son ensemble et, plus particulièrement comme le chapitre précédent l'illustre, le secteur automobile au cours des dernières décennies. Cela s'explique de plusieurs manières. D'abord, si l'aérospatiale et les autres secteurs du matériel de transport peuvent, comme au Québec, constituer des grappes industrielles d'une importance capitale, ils ne représentent cependant souvent, en termes de bassins d'entreprises et/ou d'emplois et à l'échelle de l'industrie manufacturière des grandes économies du monde, que des créneaux secondaires. Deuxièmement, *contrairement à l'automobile, le secteur de l'assemblage d'aéronefs, pour s'en tenir à lui, n'a pas été jusqu'à récemment particulièrement propice à la robotisation en raison des volumes de production relativement faibles mais surtout, des contraintes de qualité et de sécurité très élevées imposées à cette industrie (exigeant un apport humain substantiel) ainsi que de la taille et de la complexité des pièces à assembler*[104]. Comme l'illustre le cas d'*Airbus* également évoqué un peu plus loin, le développement de nouvelles technologies robotiques mieux adaptées à ce secteur est toutefois en train de changer la donne.

Graphique 58. Stock de robots industriels opérationnels du secteur du matériel de transport/aéronautique sauf automobiles (ISIC 30) en % du stock total du secteur manufacturier, par pays[105]



Les secteurs de l'aérospatiale et du matériel de transport hors-automobiles ne représentent généralement que moins de 1% du stock robotique manufacturier des économies avancées, y compris au Canada dans son ensemble. Il y a cependant quelques exceptions à cette règle, dont la France et en particulier, le Québec, où cette industrie est fortement concentrée et où, à l'échelle provinciale, son poids dans le secteur manufacturier est beaucoup plus grand qu'à l'échelle des grands pays industrialisés recensés ici. L'importance de l'industrie aéronautique française, à la fois dans ses composantes civiles et militaires, est évidemment bien connue et il n'est donc pas surprenant de constater que ce secteur (en plus des créneaux ferroviaire et naval) représente une part plus importante (et croissante) du stock français de robots manufacturiers, à un peu plus de 2% (voir par exemple le cas de *Safran Aircraft Engines*, recensé plus loin).

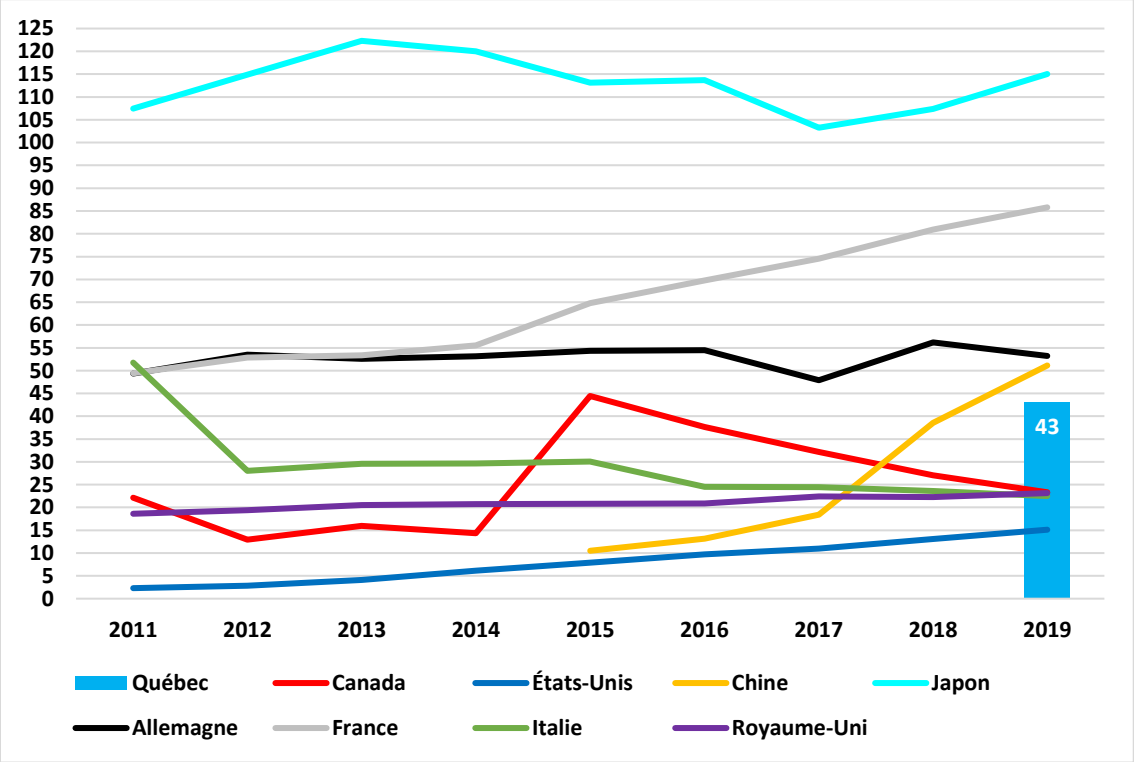
À l'échelle du Québec toutefois, où les industriels français de l'aéronautique et du ferroviaire sont d'ailleurs désormais bien présents, cette importance relative est effectivement encore plus grande (ce qui s'explique évidemment en partie par l'absence d'une industrie automobile intégrée au Québec, ce qui augmente d'autant la part robotique relative des autres industries). *Nos estimations, établies sur la base des données de l'ISQ recensant la part des entreprises manufacturières de haute-technologie utilisation la robotique (voir la note attenant au graphique pour les détails), ont en effet permis d'établir à environ 4%, soit le double de la proportion française et plus de quatre fois celle de la plupart des autres économies avancées, la part du stock robotique manufacturier québécois concentrée dans les secteurs de l'aéronautique et autres matériels de transport*. Même s'il ne nous est pas possible d'établir de telles estimations sur une base longitudinale, qui plus est, il est évidemment vraisemblable que cette part ait été depuis longtemps supérieure à ce que l'on observe ailleurs, en raison du poids relatif des secteurs aérospatial, ferroviaire et des véhicules récréatifs au sein du manufacturier québécois.

Sur le plan de la densité robotique, le portrait est plus nuancé. On remarque que le Japon, dont l'industrie aéronautique est relativement modeste mais dont le secteur du matériel ferroviaire est particulièrement bien développé et technologiquement avancé, trône au sommet des pays recensés avec une moyenne de 115 robots opérationnels/10,000 employés, une densité néanmoins stagnante, globalement, depuis le début des années 2010. Le cas de la France attire également l'attention, la densité robotique de ses secteurs de l'aéronautique et du matériel de transport hors-automobile ayant connu une forte croissance (malgré une croissance tout aussi importante de son nombre d'employés) au cours de la décennie 2010 pour s'établir à près de 90/10,000 en date de 2019, loin derrière le Japon mais loin devant la plupart des autres économies avancées. Une telle croissance a également pu s'observer en Chine depuis le milieu des années 2010, la Chine ayant pratiquement rattrapé à cet égard la densité robotique des secteurs aéronautique, ferroviaire et naval allemands, qui demeurent pour leur part parmi les plus robotisés du monde à plus de 50 robots/10,000 employés.

Avec une densité robotique que nous avons estimée à 43 robots/10,000 employés, le Québec fait donc sans grande surprise, dans ces secteurs et grâce particulièrement à son industrie

aéronautique de pointe, très bonne figure et surpasse assez largement non seulement le Canada dans son ensemble (23), mais également d'autres puissances de l'aéronautique dont le Royaume-Uni (23) et les États-Unis (15). L'immense bassin de main d'œuvre américain dans cette industrie, lui aussi en croissance et de très loin supérieur à ceux des autres puissances du secteur, a toutefois probablement pour effet de comprimer cette densité moyenne quelque peu artificiellement. Que le Québec fasse aussi bonne figure, non seulement à l'échelle canadienne mais carrément à l'échelle mondiale, en matière de robotisation dans son secteur de l'aéronautique confirme que cette industrie est technologiquement mature, ce que d'autres données viennent également appuyer.

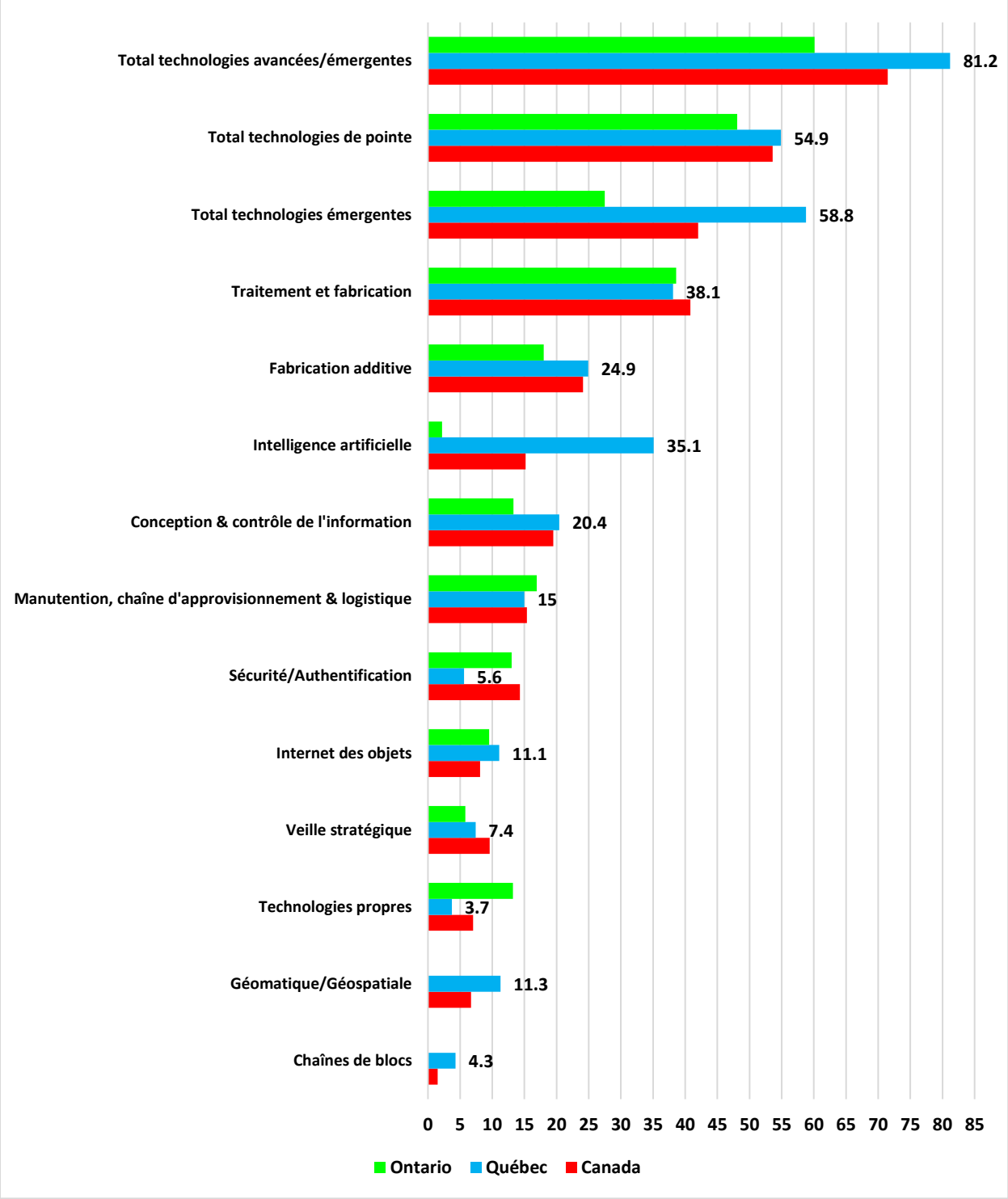
Graphique 59. Densité robotique du secteur du matériel de transport/aéronautique sauf automobiles (ISIC 30) (robots opérationnels/10,000 employés)[106]



En effet à quelques exceptions près, les niveaux de maturité et d'intensité technologique de l'industrie québécoise sont plus élevés que ceux de cette industrie ailleurs au Canada, y compris en Ontario. *En matière d'utilisation des technologies de pointe/3.0. et encore plus clairement en ce qui concerne les technologies émergentes/4.0. (à l'exception notable des technologies propres), l'industrie aérospatiale québécoise détient ainsi une avance plus ou moins forte* : les technologies d'intelligence artificielle (35%), de fabrication additive (25%), de conception et de contrôle de l'information (20%), de géomatique/géospatiale (11%) et de la *blockchain* (4%) sont, notamment, utilisées par une plus grande proportion d'entreprises aérospatiales au Québec qu'en Ontario et/ou au Canada dans son ensemble. Considérant la présence au Québec des chefs de file mondiaux cités plus tôt et en particulier, d'une foule de donneurs d'ordres et de fournisseurs spécialisés dans les secteurs de pointe des simulateurs de vol, de l'avionique, des systèmes satellitaires, du prototypage,

de l'usinage de haute précision, des matériaux composites avancés, de l'hydraulique et de l'optique-photonique[107], cet état de fait ne surprend pas outre mesure.

Graphique 60. Part (%) des entreprises manufacturières du secteur de la fabrication de produits aérospatiaux et de leurs pièces utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes (2019)[108]



Étude de cas #4 : Les Industries Leesta Ltée. (Montréal, Québec)[109]

Fabricant de composants complexes de haute précision pour les marchés de l'aérospatiale et de la défense, notamment pour les moteurs à réaction et les trains d'atterrissage

Création : 1964
Siège social et usine : Montréal, Québec
Employés : 105
Produits/services principaux : boîtiers de roulement pour moteurs d'avion et assemblages par soudage à paroi mince
Marchés : Québec et États-Unis
Clients : Pratt & Whitney (Canada, États-Unis, Pologne)

Innovation : mise en place d'un atelier d'usinage intelligent à partir du début-2020

Historique d'automatisation

L'histoire de Leesta commence en 1964 avec un jeune entrepreneur, Ernest H. Staub et une vision : fabriquer des pièces de la plus haute qualité possible. L'esprit et la vision de M. Staub ont séduit un ami, M. Leehman, qui a accepté de financer le projet à la condition que M. Staub n'investisse que dans les meilleures technologies d'usinage. Une fois l'accord conclu et les normes en place, M. Staub a commencé à fabriquer des pièces dans le sous-sol de sa maison, sur un tour à moteur de haute précision fabriqué en Suisse. En l'honneur de la contribution de M. Leehman, M. Staub a nommé sa société « LEESTA ». Les principes fondateurs de Leesta, ceux de la loyauté et de l'engagement envers l'innovation ont persisté depuis plus de 50 ans. L'usine actuelle de Leesta couvre 38 000 pieds carrés et est équipée de machinerie spécialisée. Ses normes de qualité, de précision et notre savoir-faire ont conduit à sa réputation d'excellence et de service supérieur. En reconnaissance des performances de ses employés et de sa direction, Leesta a au fil des ans reçu plusieurs prix d'excellence de la part de ses clients.

Les premiers centres d'usinage à contrôle numérique ont été introduits chez Leesta en 1979. En 1991, Leesta a été la première au pays à introduire un système de palettisation pour alimenter deux de ses centres d'usinage. L'engagement de l'entreprise envers l'innovation s'accélère au début 2020. Misant sur des technologies innovantes, Leesta se consacre à la mise en place d'une usine intelligente, qui mise sur l'innovation et la science des données. L'analyse des fondamentaux stratégiques de l'entreprise démontrait que Leesta allait devoir conjuguer avec une importante pénurie de main d'œuvre et qu'il était primordial de développer, de tester et de mettre en œuvre de nouvelles méthodes analytiques pour prendre de meilleures décisions et trouver des solutions optimales à des problèmes complexes de fabrication avancée.

L'analyse démontrait également l'importance d'apporter des changements à la structure organisationnelle afin de pouvoir introduire des technologies innovantes tels que des capteurs visuels ou des robots, pour mieux rentabiliser les investissements en capital sur des heures prolongées sans assistance humaine. Les tours et les machines CNC (*Computer Numerical Control*) de quatre à huit axes de l'entreprise lui confèrent des capacités étendues, mais une faible exploitation des données entravait sa productivité. Pour palier à cette problématique, Leesta a contribué au financement et au développement du logiciel de surveillance des machines *JITbase*, ainsi qu'au développement d'algorithmes d'intelligence artificielle pour la gestion de vie des outils de coupe avec son partenaire, *Lambda Function*.

Grâce à ces initiatives, Leesta a augmenté sa productivité et son efficacité en générant des informations exploitables sur les données des machines à commande numérique par ordinateur (CNC et *Coordinate Measuring Machine*), dans le but de maximiser le niveau d'autonomie d'usinage. Prochainement, Leesta pourra également intégrer une planification dynamique en temps réel, assurer une gestion automatisée de la vie des outils et augmenter l'efficacité de la gestion de sa chaîne d'approvisionnement en y intégrant des algorithmes décisionnels intelligents avec un nouveau partenaire (*FollowPO*), le tout au sein d'une architecture intégrée dotée d'une version mise à jour de son ERP (*Enterprise Resource Planning*). À cette stratégie de gestion de ses données massives, Leesta conjuguera également de nouveaux capteurs et robots pour créer une cellule d'inspection automatisée.

Principales stratégies d'affaires liées à l'adoption des nouvelles technologies

Depuis plusieurs années déjà, Leesta s'est associée à des partenaires technologiques (*JITbase*, *Lambda Function* et *FollowPO*). Deux de ses partenaires sont issus d'incubateurs de classe mondiale à l'École de technologie supérieure et à l'Université Concordia. L'intention était et demeure d'accéder à leurs compétences en programmation et en ingénierie, d'accéder à leur propriété intellectuelle d'arrière-plan et de s'appuyer sur celles-ci pour générer de nouvelles fonctionnalités afin de répondre aux besoins de fabrication avancée de l'entreprise.

En parallèle, Leesta travaille à monter un équipe autonome, capable de développer et d'intégrer des technologies innovantes, telle que la robotique, afin de développer des solutions automatisées adaptées à ses besoins. L'objectif principal derrière ces mesures est de rehausser le niveau de productivité de l'entreprise pour pouvoir alimenter sa croissance dans un contexte de pénurie de main d'œuvre. Au début, Leesta opérait avec un chiffre d'affaires de 130 000 $ par employé; aujourd'hui, l'entreprise maintient un niveau de productivité de plus de 220 000 $ par employé et vise à atteindre, d'ici deux ans, un niveau de performance de classe mondiale à 280 000 $ par employé.

Principaux avantages et défis liés à l'adoption des nouvelles technologies

Le plus grand défi lié aux nouvelles technologies demeure l'écart séparant ceux qui détiennent l'expertise, et les entrepreneurs qui en ont besoin. Trop souvent, surtout pour les PME, les structures organisationnelles existantes n'ont pas les compétences requises pour pleinement exploiter l'univers du 4.0. Bien que Leesta ait commencé à intégrer de nouveaux métiers à sa structure organisationnelle, c'est par l'entremise de partenariats avec des *start-ups* qu'elle a pu assurer l'envol de son plan d'innovation. Cela s'est avéré une approche gagnante pour tout le monde.

Pour Leesta, les avantages se ressentent au niveau de l'atelier mais se répercutent dans toute l'entreprise : amélioration du dévouement des machinistes par l'attribution de nouvelles responsabilités, optimisation des ressources limitées, responsabilisation de la main d'œuvre, pilotage efficace des programmes CNC, minimisation de l'intervention humaine, réduction du temps d'inactivité de la CNC, allégement de la pénurie de machinistes, meilleur usage des équipements, augmentation de la disponibilité des machines (taux de rendement synthétique), amélioration de la gestion des fournisseurs, meilleure ponctualité des livraisons, etc. En fin de compte, l'entreprise a pu augmenter les ventes par employé et atteindre de nouveaux niveaux de rentabilité et de compétitivité. Nos partenaires technologiques, pour leur part, héritent d'applications testées et validées, qui leur assurent un modèle commercial solide pour l'avenir.

Impacts sur la production/productivité

En se concentrant sur une meilleure exploitation des données et sur la réduction de l'intervention humaine, les gains de productivité sont importants et les impacts financiers considérables. L'étude de faisabilité sur la validation M0 via l'OPS à elle seule a permis d'obtenir un gain de 4% sur le taux de rendement synthétique (TRS), ce qui pour Leesta représente un bénéfice récurrent de plus de 700 000$ annuellement. Les projets en cours ont le potentiel de générer des gains de plus de 10% sur le TRS.

L'impact transformateur se répercute également chez nos partenaires technologiques. Puisque Leesta partage la propriété intellectuelle développée et financée en externe, les nouvelles fonctionnalités intégrées à même les produits de nos partenaires leur fournissent des solutions plus globales et mieux testées, ce qui leur permet d'obtenir des rendements plus importants de leurs produits et les distinguent de leurs concurrents.

Impacts sur l'utilisation de la main d'œuvre

Au-delà du bénéfice financier, extraire les pépites d'intelligence des données de l'entreprise et les intégrer dans des processus automatisés et robotisés permet de faire plus avec le personnel en poste, ce qui est un atout important dans cette période de pénurie de main d'œuvre. Évidemment, notre main d'œuvre est directement impliquée dans ces nouvelles initiatives, qui permettent de capter leurs idées, de gagner leur confiance et de moderniser leur savoir. Grâce à la qualité des données recueillies, Leesta a pu octroyer un boni de productivité à l'ensemble de sa main d'œuvre, ce qui aide à solidifier son engagement envers la modernisation des processus d'affaires de l'entreprise.

Impacts sur les ventes

Bien que les impacts de la pandémie sur le secteur aéronautique aient été importants, Leesta a vu ses ventes revenir aux niveaux prépandémiques et ce, avec 30% de personnel en moins. Qui plus est, la performance opérationnelle (livraisons à temps et qualité) est nettement supérieure à la performance prépandémique, en amont de la transformation numérique et technologique de l'entreprise.

Étude de cas #5 : Safran Aircraft Engines (usine de Le Creusot, Saône-et-Loire, France)

Groupe industriel et technologique spécialisé dans l'aérospatiale et la défense : moteurs et pièces d'avions, d'hélicoptères et de fusées, drônes, équipement militaire

Création : 2005 (fusions des sociétés Snecma et Sagem)
Siège social : Paris, France
Chiffre d'affaires : 15,3 milliards d'Euros (2021)
Employés : 81 000 (2020)

Innovation : modernisation de l'atelier d'usinage de disques de turbines du Creusot (Saône-et-Loire) pour le développement des moteurs d'avion écoénergétiques *LEAP* (« *Leading Edge Aviation Propulsion* »).

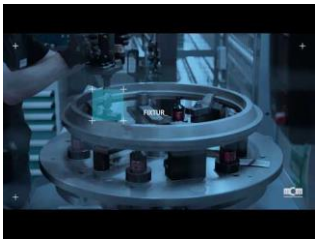
En matière d'automatisation manufacturière, la France accuse un certain retard : la densité robotique de son secteur de la fabrication, malgré une forte croissance depuis le milieu des années 2010, ne s'élevait toujours en 2020 qu'à 194 robots/10,000 employés, devant le Royaume-Uni (101) ou la moyenne mondiale (126) mais assez loin derrière l'Italie (224), le Canada (233), la Chine (246), les États-Unis (255), l'Allemagne (371) ou le Japon (390). Dans son important secteur de l'automobile, cependant, la densité robotique de la France est particulièrement élevée (1671/10,000), n'étant surpassée chez les constructeurs majeurs que par la Corée du Sud (2750/10,000). Cela s'explique toutefois en partie par la décroissance du nombre d'emplois dans le secteur automobile français au cours des années 2010[110].

Il est en revanche un secteur pour lequel l'avance de la France en matière de robotisation est véritablement marquée : c'est celui du matériel de transport aérospatial, ferroviaire et naval. Dans ce créneau, qui à l'inverse a connu une hausse du nombre d'emplois au cours des dernières années, la croissance du stock français de robots industriels en opération a été fulgurante depuis le milieu des années 2010. Ce secteur accapare même aujourd'hui plus de 2% du stock de robots industriels du manufacturier français dans son ensemble, contre 1,5% au Royaume-Uni et moins de 1% dans à peu près tous les autres économies avancées[111].

Dans le créneau du matériel de transport aérospatial, ferroviaire et naval, conséquemment, la densité robotique française (86/10,000 employés), en forte croissance, n'était plus surpassée en date de 2019 que par celle (stagnante) du Japon (115/10,000) mais dépassait largement celles de l'Allemagne (53), de la Chine (51), du Royaume-Uni (23), du Canada (23), de l'Italie (22) et des États-Unis (15)[112]. Au sein de cette filiale du matériel de transport hors-automobiles, c'est évidemment le secteur aérospatial qui, en France, domine le paysage : le chiffre d'affaires de ce secteur atteignait en 2020 les 106 milliards d'Euros (malgré une décroissance de 32% attribuable à la crise sanitaire), son effectif les 263 000 salariés, et son bassin d'entreprises les 4500[113].

Les grandes puissances de l'aérospatiale française sont bien connues : *Dassault*, *ArianeGroup*, *Daher* et bien évidemment, *Airbus* et *Safran* en sont parmi les principaux joueurs et brassent des affaires partout dans le monde. Bien que, en raison de sa position dominante dans le créneau de l'aviation civile, Airbus soit probablement la plus connue des entreprises aérospatiales françaises, il est intéressant de noter qu'en fait, parmi les cinq plus grands sites de production industrielle du secteur en France (en termes d'effectifs), pas moins de quatre sont des usines de *Safran*, spécialisées dans la fabrication de pièces et de moteurs d'avions[114].

En troisième position, on retrouve notamment l'atelier d'usinage de disques de turbines pour moteurs du Creusot (Saône-et-Loire), inaugurée en 1987 par le gouvernement Mitterrand et opérée alors par la *Société nationale d'étude et de construction de moteurs d'aviation* (Snecma), entreprise d'État, sur un gigantesque site industriel de 14 000 m^2. Entre la fin des années 1980 et le début des années 2010, cette usine fabriquera en moyenne annuellement environ 5000 disques de turbine grâce à 65 machines-outils et à cinq cellules de production (déjà partiellement automatisées), destinés principalement aux moteurs CFM56 développés par la Snecma et *General Electric* pour les avions Airbus et Boeing[115].



À partir du milieu des années 2010, le développement (toujours par le consortium Safran/General Electric) du successeur du CFM56, le moteur « LEAP » (*Leading Edge Aviation Propulsion*), qui consomme 15% moins de carburant, pour les avions de nouvelle génération Comac C919 (Chine), Airbus A320Neo et Boeing 737 MAX rend nécessaire la modernisation de l'usine du Creusot. 25 millions d'Euros y sont alors investis notamment pour étendre le site d'un autre 4000 m^2 et surtout, pour l'équiper de nouvelles cellules autonomes de tournage, pointage et perçage[116]. Plusieurs dizaines de millions d'Euros supplémentaires seront ajoutées à cet investissement au fil des ans, passé de 25 à 60 millions d'Euros entre 2014 et 2022.

De cinq, le nombre de cellules d'usinage passe à douze (centres d'usinage multitâches horizontal « Tank.G » à cinq axes, de l'italienne *Machining Centers Manufacturing*)[117] et à la pratique de « l'usinage à porte fermée », procédé entièrement automatisé et programmé numériquement à distance par le logiciel de supervision JFMX, qui permet l'amélioration continue par mesure au laser, analyse des données et maintenance prédictive[118]. Des robots de palettisation ont également été intégrés au site à la fin des années 2010, complétant l'automatisation de la chaîne de production.

Cette modernisation a permis non seulement d'accroître la productivité de l'usine de plus de 20%, mais aussi une réorganisation complète des temps de travail : désormais, aucun ouvrier ne travaille de nuit ou les dimanches, et la semaine de quatre jours a pu être instaurée en accord avec les syndicats[119]. Une cinquantaine d'embauches supplémentaires est malgré tout prévue d'ici 2025.

Étude de cas #6 : Airbus Commercial Aircraft (usine d'assemblage d'Hambourg, Allemagne)

Constructeur aéronautique européen (Airbus Group est détenu à 11% par l'État allemand, 11% par l'État français, 4% par l'État espagnol et 74% par des actionnaires privés)

Création : 1970 (fusion de la société d'État française *Aérospatiale* et des allemands *Messerschmitt-Bölkow-Blohm* et *VFW-Fokker*)
Siège social : Blagnac, France; Siège opérationnel : Hambourg, Allemagne
Chiffre d'affaires : 52,1 milliards d'Euros (*Airbus Commercial Aircraft*, 2021)
Employés : 80 895 (*Airbus Commercial Aircraft*, 2020)

Innovation : robotisation et numérisation complète des lignes d'assemblage d'Hambourg (Allemagne) pour les structures de fuselage des A318, A319(neo), A320(neo), A321(neo) et A321LR

L'Allemagne est bien connue pour l'importance et la performance de son secteur manufacturier, de même que pour la haute valeur-ajoutée et la maturité technologique avancée de ce dernier. En termes de valeur ajoutée, l'Allemagne (près de 700 milliards $US en 2020) demeure la troisième puissance manufacturière du monde, derrière les États-Unis et le Japon mais devant la Corée du Sud, la Chine, l'Inde et l'Italie[120]. Parmi les principales filiales industrielles allemandes, on compte notamment l'automobile, la machinerie et l'équipement industriels, le secteur chimique et pharmaceutique, la métallurgie, et l'équipement électronique/électrique.

Le secteur manufacturier allemand est en effet l'un des plus robotisés du monde (2020), avec une densité robotique (371 robots/10,000 employés) surpassée uniquement par celles du Japon (390), de Singapour (605) et de la Corée du Sud (932). Cela n'est d'ailleurs qu'en partie dû à la filière automobile allemande, qui demeure très robotisée mais accuse néanmoins un certain retard face aux constructeurs coréens et nord-américains, à 1395 robots/10,000 employés contre 2750 en Corée du Sud, 1593 au Canada, 1528 aux États-Unis, 1269 au Japon, 1150 en Chine, 782 au Royaume-Uni et 749 en Italie[121].

L'Allemagne est d'ailleurs elle-même un important producteur de systèmes d'automatisation manufacturière (systèmes intégrés d'assemblage, vision et intelligence artificielle) et de robotique industrielle et collaborative[122]. En 2020, l'Allemagne a produit près de 22 000 robots industriels, une part du marché mondial d'environ 6%; sur ce total, plus de 16 000 unités ont été exportées. L'entreprise allemande *KUKA* (toutefois aujourd'hui détenue par la chinoise *Midea Group*) figure parmi les plus importants équipementiers en robotique du monde, ses produits étant utilisés principalement par l'industrie automobile mais aussi, de plus en plus, par la filière aérospatiale et par de grands noms tels *Boeing*, *SpaceX* et *Airbus*.

La filière allemande de l'aérospatiale est d'ailleurs, depuis une vingtaine d'années, parmi les plus dynamiques du secteur manufacturier du pays, tant en termes de croissance que de recherche et d'innovation (avec environ 10% de ses revenus bruts annuels réinvestis en R&D)[123]. L'Allemagne est déjà l'une des puissances mondiales dans l'industrie du drone, et la puissance de son secteur manufacturier, en particulier de ses filières de la métallurgie, de la machinerie et de l'électronique, en ont fait l'un des centres mondiaux de l'ingénierie, de la R&D, de la fabrication de pièces et de l'assemblage aérospatiaux.

Cela explique en partie pourquoi la multinationale européenne *Airbus*, dont l'État allemand demeure l'un des actionnaires de contrôle majeurs, a choisi Hambourg (l'une des plaques tournantes de l'aérospatiale allemande) pour implanter l'une des chaînes d'assemblage d'aéronefs les plus automatisées du monde. Depuis l'automne 2019, *Airbus* opère à *Finkenwerder*, en banlieue d'Hambourg, une usine à la fine pointe de la technologie (le « Hangar 245 ») pour l'assemblage structurel (queue, sections arrière et centrale) et l'intégration des équipements électriques et mécaniques au fuselage de ses modèles A318/319/320/321.

Le Hangar 245 intègre désormais huit systèmes de robots sur rails *Flextrack* de *MTM Robotics* pour les joints longitudinaux, une douzaine de robots riveteurs *Kuka Titan 7-axes* montés d'autant d'effecteurs-finaux *Alema Automation*, des systèmes de positionnement par mesure au laser et de nouveaux logiciels d'acquisition et d'analyse des données massives par intelligence artificielle, puis d'interconnexion des équipements[124]. Les fuselages ainsi produits sont également, en fin de processus, sortis de l'usine par des véhicules autonomes à autoguidage laser, afin d'être expédiés vers les sites d'assemblage final d'*Airbus* ailleurs en Allemagne, en France, aux États-Unis ou en Chine.

Environ 50% des coûts récurrents et des heures de travail ont été éliminés grâce à l'automatisation de la ligne d'assemblage du Hangar 245[125]. Les succès de cette opération seront d'ailleurs progressivement appliqués aux autres centres d'assemblage d'*Airbus* à travers le monde, et l'entreprise a d'ailleurs déjà débuté, à l'automne 2021, la construction d'une nouvelle usine de production et d'assemblage 4.0. à *Finkenwerder*, pour le A321 XLR[126].

Chapitre 3. Le secteur de la fabrication des aliments

Faits saillants

- *Malgré un très léger déclin relatif de la productivité du travail dans le secteur de la fabrication des aliments au cours des années 2010, le Québec demeure en milieu de peloton à l'échelle des pays recensés : à environ 94 000 $US de PIB par emploi dans ce secteur en date de 2019, le Québec se situait au pair avec l'Ontario et le Canada, puis devant le Japon (87 000 $US) et loin devant l'Allemagne (66 000 $US).*

- *Malgré des sommets atteints au milieu des années 2010, les dépenses en R&D dans le secteur québécois de la fabrication des aliments semblent avoir suivi une tendance à la baisse au cours des années 2010, passant de près de 9300 $US par millions $US de PIB en 2010 à moins de 6000 $US en date de 2019. Le Québec se retrouve ainsi, en date de 2019, en queue de peloton à l'échelle internationale, tout juste devant le Canada (4860 $US) et l'Ontario (5530 $US).*

- *En matière de productivité du capital dans le secteur de la fabrication des aliments, le Québec a pour la majeure partie des années 2010 été l'une de juridictions dominantes parmi notre échantillon; en date de 2019 toutefois, le Québec est revenu en milieu de peloton à environ 7$ US de PIB par dollar de formation brute de capital fixe, tout juste devant l'Ontario, le Canada et l'Allemagne.*

- *Au Canada, même à 9% du stock robotique global du secteur manufacturier (contre 22% au Québec selon nos estimations) l'industrie de la fabrication des aliments possède une densité robotique particulièrement faible en comparaison des autres économies avancées mais aussi, du Québec lui-même. À environ 17 robots/10,000 employés en date de 2019, le secteur canadien de la fabrication des aliments est de loin le moins robotisé parmi les pays recensés. Selon nos calculs, la densité robotique du secteur alimentaire québécois, à 105/10,000, surpasse largement celle du Canada et plus ou moins largement celle des autres pays recensés, à l'exception notable de l'Italie.*

- *L'avance, en termes de maturité technologique à l'échelle canadienne, de l'industrie québécoise de la fabrication des aliments semble d'ailleurs être confirmée par les données sur l'utilisation d'autres technologies 3.0. et 4.0. À quelques exceptions près, les entreprises de l'industrie alimentaire québécoise sont (parfois largement) plus nombreuses, relativement parlant, que les entreprises ontariennes ou canadiennes à avoir passé le pas.*

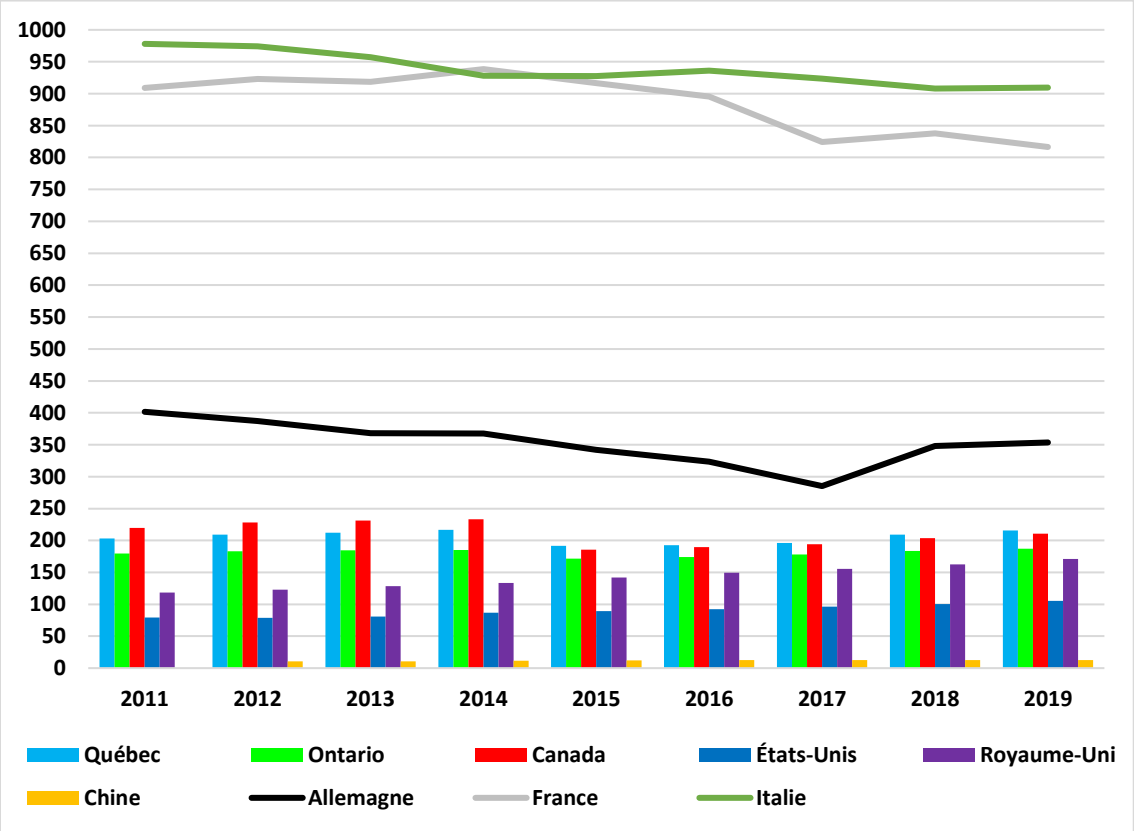
- *Les écarts favorables au Québec sont particulièrement importants dans les créneaux des technologies de traitement et de fabrication; de conception et de contrôle de l'information; de manutention, de logistique et de gestion des chaînes d'approvisionnement; puis d'intelligence artificielle. En revanche, le Québec semble accuser un léger retard sur l'Ontario et/ou le Canada, dans ce secteur, quant à l'utilisation des technologies de veille stratégique et (ici encore) des technologies propres.*

3.1. Caractéristiques économiques comparées

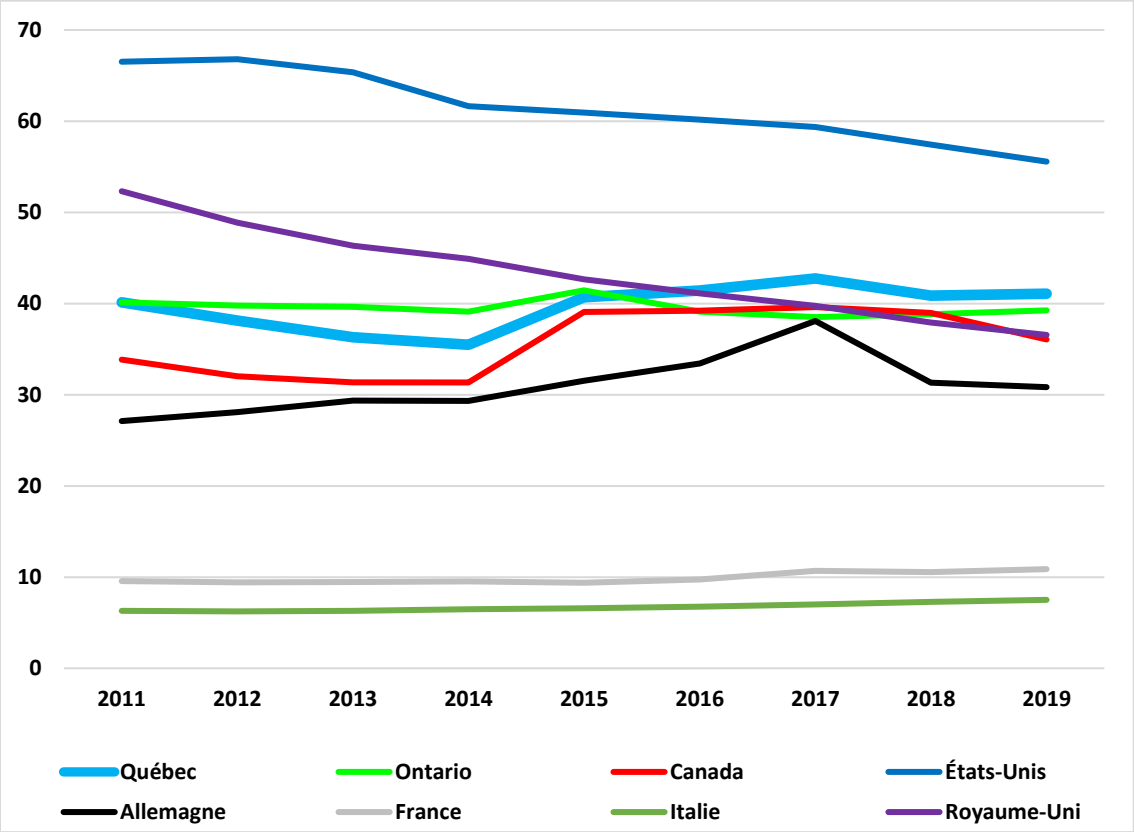
➢ La densité d'entreprises dans le secteur québécois de la fabrication des aliments est assez élevée : à 216 entreprises par million d'habitants en date 2019, le Québec surpasse légèrement le Canada (211) et l'Ontario (187) mais surtout, le Royaume-Uni (171), les États-Unis (105) et la Chine (13). En revanche, le Québec demeurait en 2019 bien en-deçà des densités atteintes par les trois grandes puissances agroalimentaires européennes que sont l'Allemagne (354 entreprises par million d'habitants) et en particulier, la France (816) et l'Italie (910).

➢ De manière générale au cours des années 2010, la densité d'entreprise dans le secteur de la fabrication des aliments est demeurée au Québec relativement stable, fluctuant de 192 entreprises par million d'habitants (2015) à 216 (2019). Cette stabilité s'observe aussi pour la plupart des autres économies recensées, même si les trois grandes puissances européennes de l'agroalimentaire ont connu un léger déclin plus continuel au cours de cette période.

Graphique 61. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteur de la fabrication des aliments[127]



Graphique 62. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur de la fabrication des aliments[128]

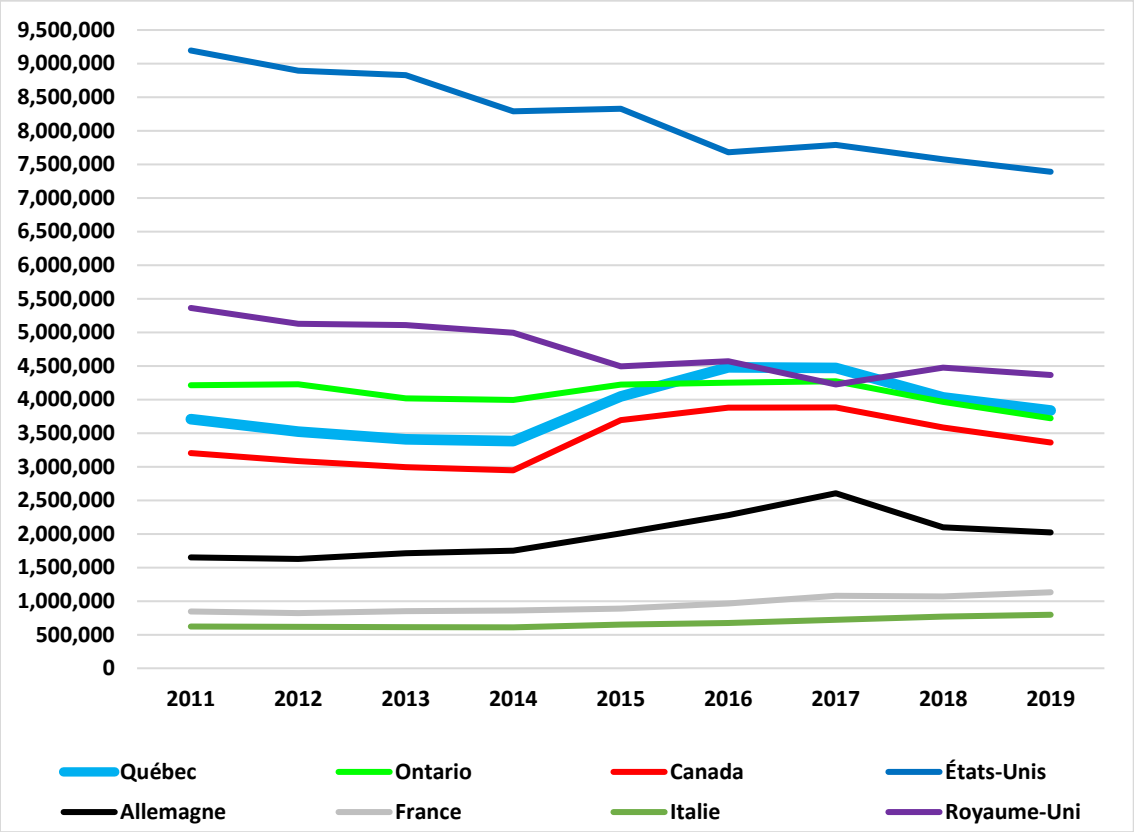


➢ Sans surprise, on note que la France et l'Italie, qui possèdent de loin, parmi les économies recensées, les plus fortes densités d'entreprises dans le secteur de la fabrication des aliments sont également les pays dont la taille moyenne des entreprises dans ce secteur est la plus faible, à 11 et 8 employés par entreprise respectivement, contre plus de 30 pour l'Allemagne.

➢ À l'échelle internationale, le Québec se retrouve en milieu de peloton en ce qui a trait à la taille moyenne de ses entreprises du secteur de la fabrication des aliments : à environ 41 employés par entreprise en moyenne pour 2019, moyenne d'ailleurs très stable depuis le début des années 2010, le Québec surpasse ainsi l'Allemagne (31), le Canada (36), le Royaume-Uni (37) et l'Ontario (39), mais est largement surpassé par les États-Unis (56 employés par entreprises en moyenne).

➢ Contrairement aux autres juridictions recensées ainsi qu'au Québec, les États-Unis et le Royaume-Uni ont vu, au cours des années 2010, la taille moyenne de leurs entreprises du secteur de la fabrication des aliments reculer assez significativement.

Graphique 63. PIB par entreprise, secteur de la fabrication des aliments ($ US constants de 2015)[129]

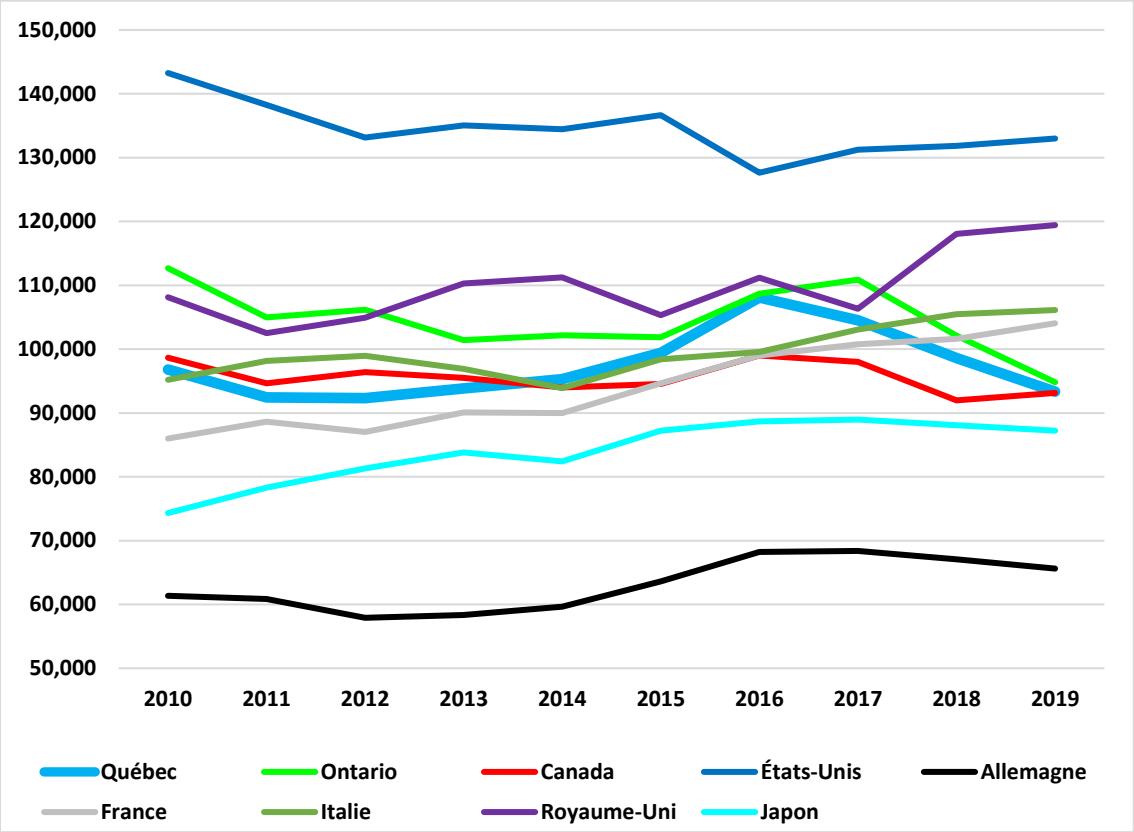


➢ Les entreprises italiennes, françaises et allemandes du secteur de la fabrication des aliments étant en moyenne les plus petites parmi les juridictions recensées, ce sont également celles dont la production est la plus modeste. Le PIB moyen par entreprise atteignait respectivement, dans ces trois pays, près de 800 000 $US, 1,1 million $US et un peu plus de 2 millions $US en 2019.

➢ Ici encore, le Québec se retrouve en milieu de peloton à l'échelle internationale. Ses entreprises du secteur de la fabrication des aliments produisent en moyenne davantage, à environ 3,8 millions $US en 2019, que celles de l'Italie, de la France, de l'Allemagne, du Canada (3,4 millions $US) ou de l'Ontario (3,7 millions $US), mais légèrement moins que les entreprises britanniques (4,4 millions $ US) et beaucoup moins que les entreprises américaines (7,4 millions $US).

➢ La production par entreprise québécoise dans le secteur de la fabrication des aliments a connu une légère croissance au cours des années 2010 et surtout dans la seconde moitié de cette décennie; les États-Unis et le Royaume-Uni, qui ont vu la taille moyenne de leurs entreprises reculer dans ce secteur, ont conséquemment aussi vu la production moyenne par entreprise décroître au cours des années 2010.

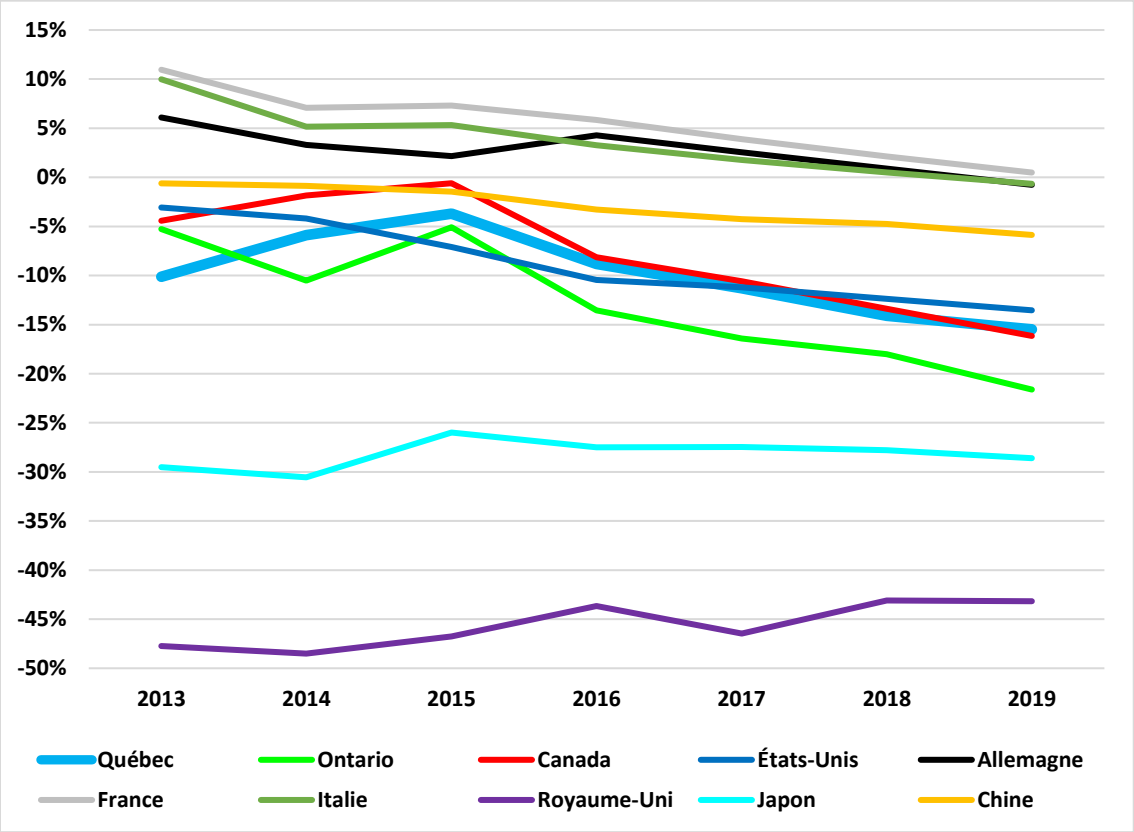
Graphique 64. PIB par emploi, secteur de la fabrication des aliments ($ US constants de 2015)[130]



➢ Malgré un très léger déclin relatif de la productivité du travail dans le secteur de la fabrication des aliments au cours des années 2010, le Québec demeure en milieu de peloton à l'échelle des pays recensés : à environ 94 000 $US de PIB par emploi dans ce secteur en date de 2019, le Québec se situait au pair avec l'Ontario et le Canada, puis devant le Japon (87 000 $US) et loin devant l'Allemagne (66 000 $US). En revanche, la productivité du travail québécoise dans ce secteur accuse encore un retard plus ou moins important sur la France (104 000 $US), l'Italie (106 000 $US), le Royaume-Uni (119 000 $US) et les États-Unis (133 000 $US).

➢ Le Québec, l'Ontario, le Canada et les États-Unis sont les seules juridictions recensées ayant connu un recul relatif de leur productivité du travail, dans le secteur de la fabrication des aliments, au cours des années 2010 alors que le Japon, la France, l'Italie, le Royaume-Uni et l'Allemagne ont connu des hausses plus ou moins importantes.

Graphique 65. Valeur de la balance commerciale du secteur de la fabrication des aliments en % du PIB du secteur de la fabrication des aliments[131]

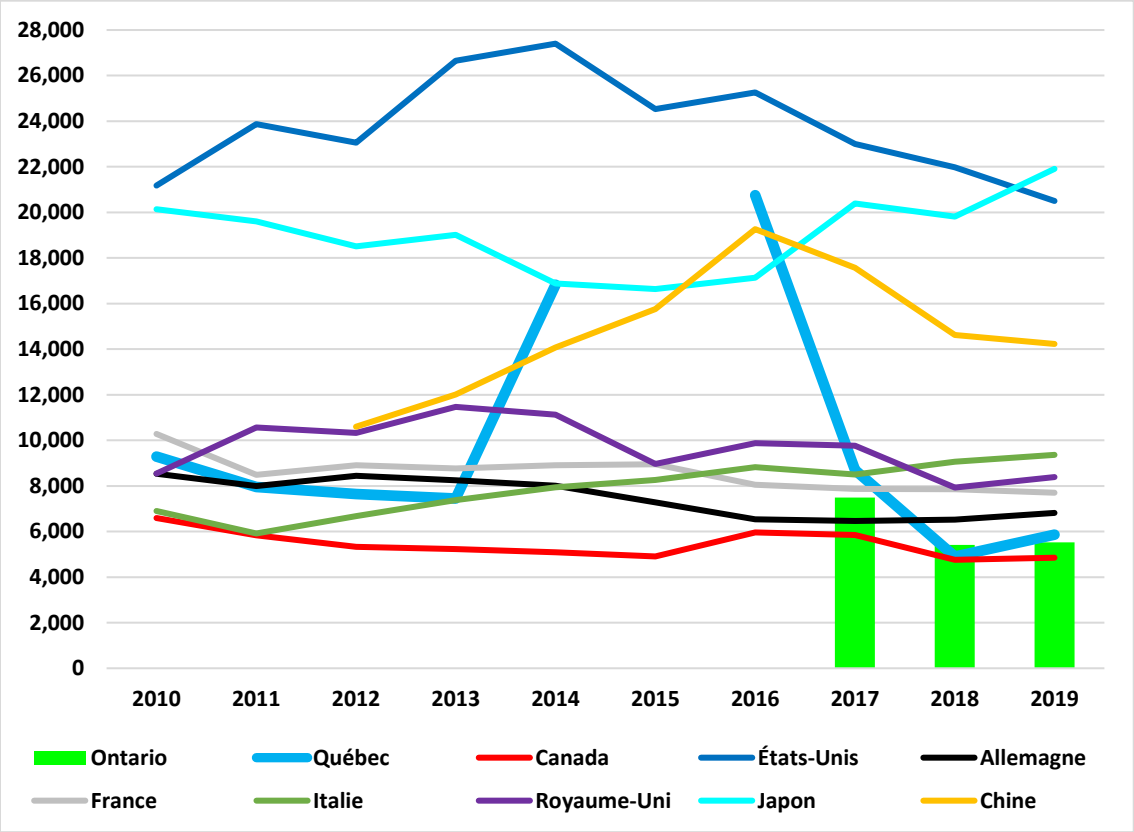


➢ Parmi les juridictions recensées, seulement trois maintiennent en date de 2019 une balance commerciale positive dans le secteur de la fabrication des aliments : l'Allemagne, l'Italie et la France. Leur solde commercial respectif dans ce secteur est toutefois, à l'instar des autres juridictions à l'exception du Royaume-Uni et du Japon, en déclin depuis le début des années 2010. Les États-Unis et la Chine sont pour leur part également de plus en plus déficitaires dans ce secteur.

➢ Le solde commercial du Québec dans le secteur de la fabrication des aliments était, en date de 2019, légèrement négatif (-15% du PIB du secteur) et à peu près au niveau de celui du Canada dans son ensemble (-16%). Le déficit québécois est toutefois, dans ce secteur, moins marqué que celui de l'Ontario (-22% du PIB sectoriel) ou que ceux du Japon (-29%) et du Royaume-Uni (-43%).

➢ Le déficit commercial du Québec dans le secteur de la fabrication des aliments s'est également dégradé considérablement, particulièrement entre 2015 (-4% du PIB) et 2019 (-15%). Ce déclin a cependant été moins marqué qu'en Ontario, au Canada ou au Royaume-Uni.

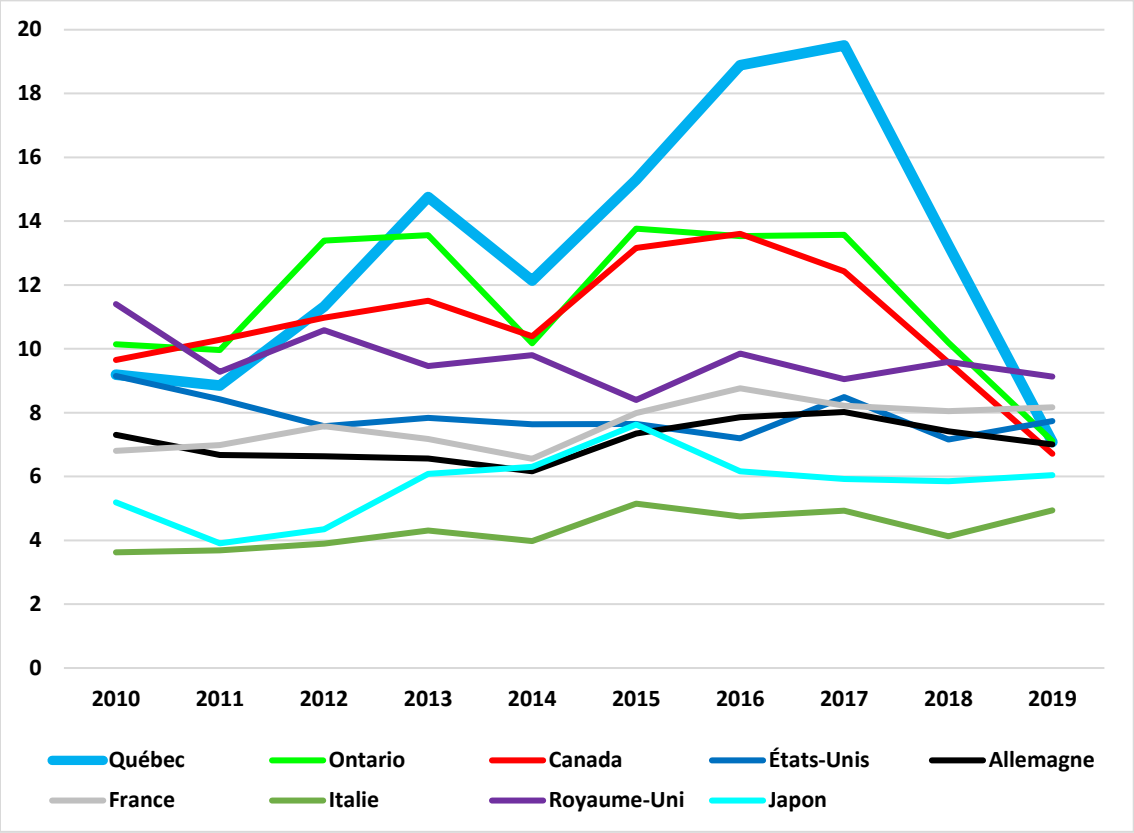
Graphique 66. Dépenses en R&D du secteur de la fabrication des aliments pour chaque million de PIB du secteur de la fabrication des aliments ($ US constants de 2015)[132]



➢ Les États-Unis, le Japon et le Chine sont de loin, parmi les pays recensés, ceux qui dépensent le plus en R&D, toutes proportions gardées, dans le secteur de la fabrication des aliments. À près de 22 000 $US par million $US de PIB en dépenses de R&D dans ce secteur (2019), le Japon surpasse désormais les États-Unis (20 500 $US) à cet égard, alors que les dépenses américaines ont beaucoup décliné, en termes relatifs, depuis le milieu des années 2010. Ce déclin peut également être observé au Canada, où les dépenses de R&D dans le secteur de la fabrication des aliments sont passées de près de 6600 $US par millions $US de PIB en 2010 à un peu plus de 4850 $US en 2019.

➢ Les données sur cet indicateur pour le Québec brossent un portrait contrasté : malgré des sommets atteints au milieu des années 2010, les dépenses en R&D dans le secteur québécois de la fabrication des aliments semblent avoir suivi une tendance à la baisse au cours des années 2010, passant de près de 9300 $US par millions $US de PIB en 2010 à moins de 6000 $US en date de 2019. Le Québec se retrouve ainsi, en date de 2019, en queue de peloton à l'échelle internationale, tout juste devant le Canada (4860 $US) et l'Ontario (5530 $US) mais derrière l'Allemagne (6800 $US), la France (7702 $US), le Royaume-Uni (8400 $US), l'Italie (9362 $US) et évidemment, la Chine, les États-Unis et le Japon.

Graphique 67. PIB du secteur de la fabrication des aliments pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur de la fabrication des aliments ($ US constants de 2015)[133]



➢ La productivité du capital québécois dans le secteur de la fabrication des aliments a subi de fortes fluctuations au cours des années 2010 : d'une moyenne de plus de 9$ US de PIB par dollar de formation brute de capital fixe en 2010, le Québec est passé près des 20$ US en 2017 avant de retomber autour des 7$ US en 2019. Cela s'explique notamment par une légère baisse du PIB dans le secteur de la fabrication d'aliment à la fin des années 2010, doublée d'une hausse importante de la formation brute de capital fixe (535 à 994 millions $US de 2018 à 2019).

➢ En matière de productivité du capital dans le secteur de la fabrication des aliments, le Québec a donc pour la majeure partie des années 2010 été l'une de juridictions dominantes parmi notre échantillon; en date de 2019 toutefois, le Québec est revenu en milieu de peloton à environ 7$ US de PIB par dollar de formation brute de capital fixe, tout juste devant l'Ontario, le Canada et l'Allemagne puis assez loin devant le Japon (6$ US) ou l'Italie (5 $US), mais derrière les État-Unis (7,8 $US), la France (8,2 $US) et le Royaume-Uni (9,1$ US).

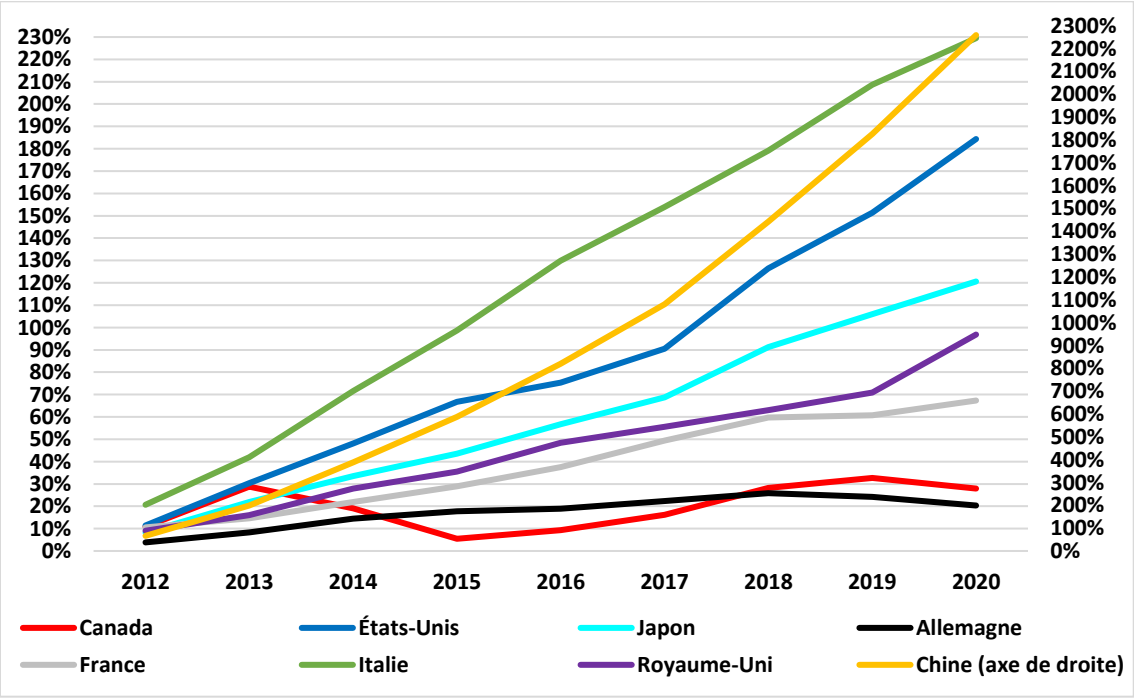
3.2. Maturité technologique comparée

Tableau 16. Stock robotique du secteur de la fabrication des aliments (ISIC 10-11, 2020)[134]

Québec	Canada	États-Unis	Royaume-Uni	France	Allemagne	Italie	Japon	Chine
811	2835	16 740	1693	4021	6921	9114	8103	17 131

Historiquement, le secteur de la fabrication des aliments a été parmi les industries manufacturières ayant adopté l'automatisation et la robotique assez tôt, grâce à ses grands volumes de production puis au caractère hautement répétitif des opérations de manutention, de transformation et d'emballage requis. Les niveaux de robotisation atteints par le secteur alimentaire des principales économies avancées sont toutefois loin d'avoir atteint leurs limites; au contraire, la robotisation et plus largement, la modernisation technologique de cette industrie ont connu une très forte croissance au cours de la dernière décennie. Ces tendances vont d'ailleurs s'accentuer et ce pour plusieurs raisons : entre autres facteurs, pensons aux pressions croissantes en faveur de l'autonomie alimentaire et de la substitution des importations dans ce secteur; aux transformations importantes des caractéristiques de la demande et à la popularisation des produits bio ainsi que du prêt-à-manger livrable à domicile; à la forte inflation affectant le prix des denrées alimentaires, entraînant un impératif de productivité accru; puis aux progrès importants qu'il reste à accomplir en matière de réduction de l'emballage et des déchets ainsi qu'en matière de valorisation/réutilisation des résidus[135].

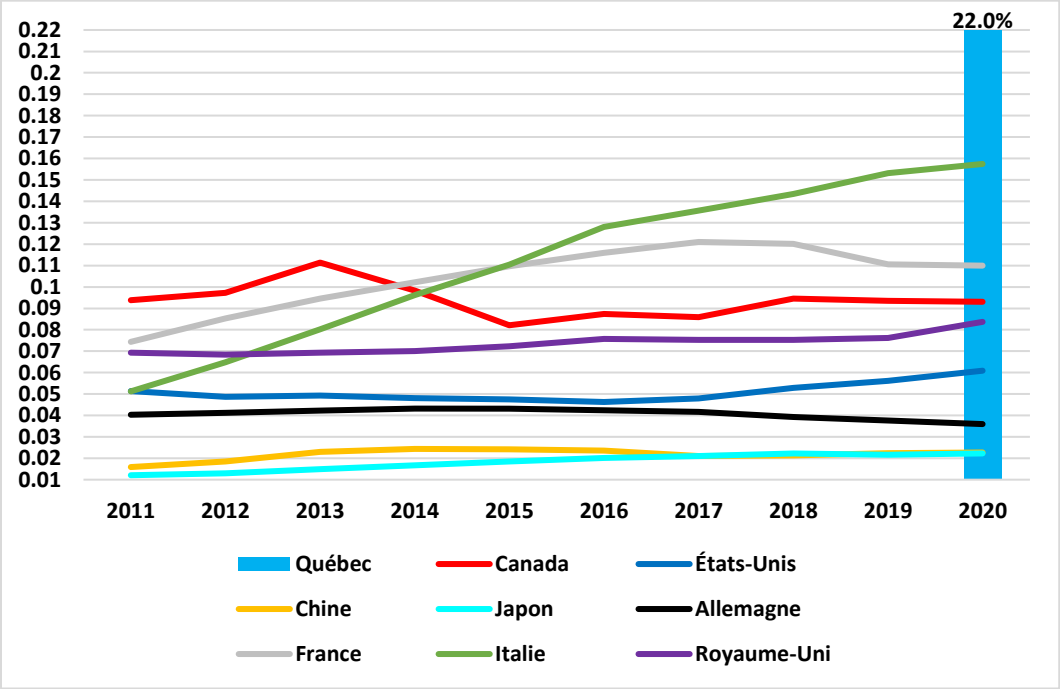
Graphique 68. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur de la fabrication des aliments (ISIC 10-11) (année de référence = 2011)[136]



La robotique pourra contribuer puissamment à ces transformations, en maximisant la productivité de l'industrie tout en rendant possibles de nouvelles méthodes de transformation, d'emballage et de gestion des déchets, plus efficaces et plus écologiques. Dans ce contexte, il n'est pas surprenant de constater qu'effectivement, la robotisation de l'industrie de la fabrication des aliments s'est considérablement accélérée depuis le début des années 2010, et ce dans la plupart des pays recensés. La France (67%), le Royaume-Uni (97%) et le Japon (121%) ont connu entre 2011 et 2020 une croissance importante de leur stock de robots opérationnels dans ce secteur, mais les taux cumulatifs atteints au cours de cette même période par les États-Unis (184%), l'Italie (230%) et bien évidemment, la Chine (2260%) ont été particulièrement impressionnants.

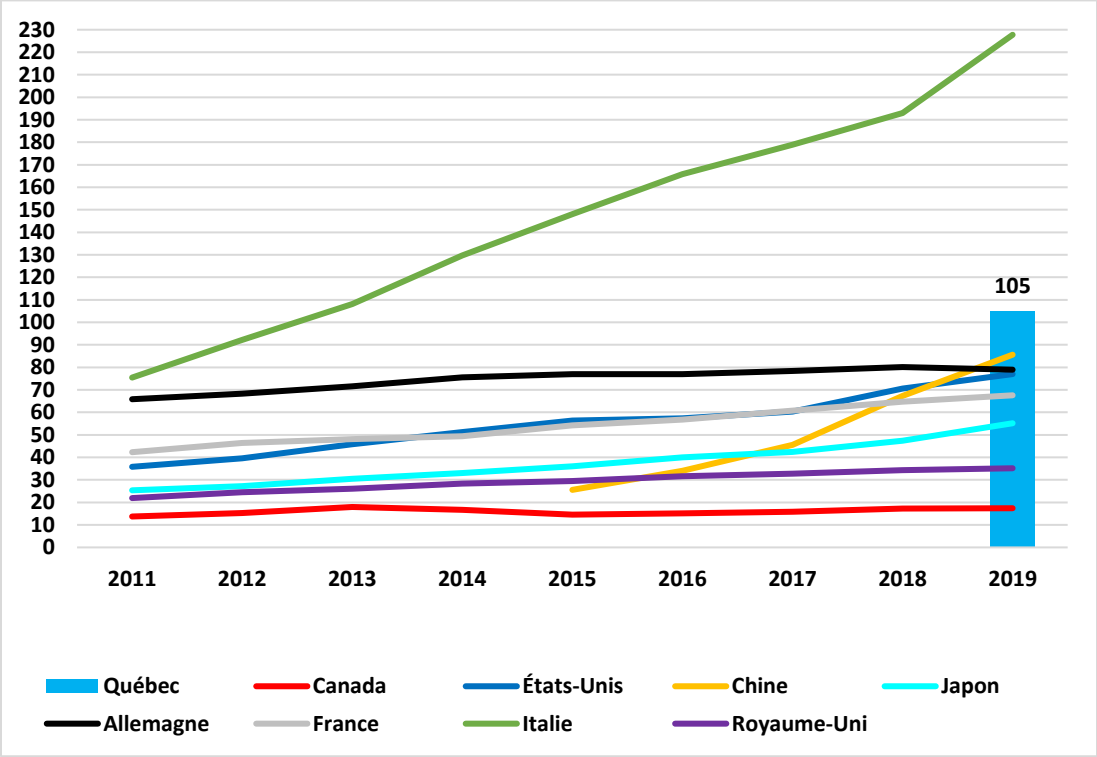
Le secteur agroalimentaire italien, dont on connait l'importance et le rayonnement mondial, s'est d'ailleurs révélé particulièrement agressif, au cours des dernières années, en matière de modernisation technologique (voir à ce sujet le cas de la multinationale *Barilla*, recensé plus loin). Dans la foulée de la crise sanitaire, le projet d'un « Pôle d'innovation agroalimentaire 4.0. » a été lancé et le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Forêts (plus particulièrement, via son « Conseiller à l'innovation technologique pour le secteur agroalimentaire ») a initié, dans le cadre du plan de relance national post-COVID, le financement de divers projets axés sur la transition énergétique, l'économie circulaire, la R&D, les transferts technologiques et la 5G[137]. Face à tous ces pays, *le Canada (et dans la même mesure, l'Allemagne) fait toutefois pour sa part toutefois piètre figure : entre 2011 et 2020, le stock robotique de son secteur de la fabrication des aliments ne s'est bonifié que d'environ 30%*, ce qui n'est pas négligeable mais demeure bien en-deçà des niveaux atteints ailleurs.

Graphique 69. Stock de robots industriels opérationnels du secteur de la fabrication des aliments (ISIC 10-11) en % du stock total du secteur manufacturier, par pays[138]



Il faut dire d'ailleurs que, de manière générale, la maturité robotique du secteur canadien de la fabrication des aliments est assez peu développée. Même si, à environ 9% du stock total de robots manufacturiers en opération en date de 2020, l'industrie canadienne de la fabrication des aliments n'est devancée que par la France (11%), autre grand producteur agroalimentaire, puis par l'Italie (16%), cela n'est en fait, pour les raisons tout juste évoquées, que l'artéfact du faible taux de robotisation général du secteur manufacturier au Canada. Au Japon (2%) comme en Chine (2%), en Allemagne (3,6%), aux États-Unis (6%) ou au Royaume-Uni (8%), le stock de robots opérationnels de l'industrie alimentaire est également inférieur à 10%, c'est-à-dire bien en-deçà du poids respectif que représente, pour chacun de ces pays, l'industrie de la fabrication d'aliments en proportion du bassin global d'emplois manufacturiers. Au Canada, ce poids atteint les 16% contre environ 12% en Italie et en Allemagne, 15% au Japon et aux États-Unis, 18% au Royaume-Uni, et 24% en France. *Dans le cas du Canada dans son ensemble toutefois, même à 9% du stock robotique global du secteur manufacturier l'industrie alimentaire fait montre d'une densité robotique particulièrement faible en comparaison des autres économies avancées mais aussi, selon nos estimations, du Québec lui-même, dont le stock robotique du secteur des aliments représente environ 22% du stock manufacturier global* (*l'écart s'explique ici évidemment par l'absence d'un secteur automobile intégré au Québec*).

Graphique 70. Densité robotique du secteur de la fabrication des aliments (ISIC 10-11) (robots opérationnels/10,000 employés)[139]



À environ 17 robots/10,000 employés en date de 2019, densité à peu près stable depuis le début des années 2010, le secteur canadien de la fabrication des aliments est effectivement de loin le

moins robotisé parmi les pays recensés. L'industrie alimentaire britannique en est au double de la densité robotique canadienne (35/10,000), alors que le Japon (55), la France (68), les États-Unis (77), l'Allemagne (79) et la Chine (86) font très largement mieux et surtout, ont connu une croissance plus ou moins forte de leur densité robotique dans ce secteur au cours de la décennie 2010. Les progrès immenses de l'Italie en cette matière sont ici, par ailleurs, particulièrement évidents : d'une densité robotique de 75/10,000 en 2011, le secteur de la fabrication des aliments italien, et ce malgré un bassin d'emplois en croissance, est passé à une densité de près de 230/10,000 en date de 2019, très loin en tête parmi les économies avancées. *Selon nos calculs, la densité robotique du secteur alimentaire québécois, à 105/10,000, surpasse de très loin celle du Canada et assez largement celle des autres pays recensés, à l'exception notable de l'Italie*. Il faut dire que des efforts particuliers ont été consentis au cours des dernières années afin de robotiser et plus largement, d'automatiser et de moderniser les entreprises du domaine de la transformation alimentaire; outre les programmes offerts par Investissement Québec, on peut notamment penser ici aux initiatives de R&D ainsi qu'au « *Programme de transformation alimentaire : robotisation et systèmes de qualité* » du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ)[140].

Étude de cas #7 : Barilla (Pedrignano, Parme, Italie)

Groupe agroalimentaire italien fabricant pâtes alimentaires, sauces, produits de boulangerie et pâtisseries

Création : 1877
Siège social : Pedrignano, Parme, Italie
Revenus bruts : 3,9 milliards d'Euros (2020)
Employés : 8600 (2020)

Innovation : robotisation/automatisation/numérisation complètes de l'usine et du centre de distribution de Pedrignano

Lorsqu'on pense à l'industrie 3.0./4.0. et au manufacturier de fine pointe technologique, l'Italie ne vient pas spontanément en tête. S'il est vrai que la densité robotique du secteur manufacturier italien, à 224 robots/10,000 employés (2020), demeure inférieure à celle du Japon (390), de l'Allemagne (371), des États-Unis (255) ou même du Canada (233), cette relative faiblesse est essentiellement liée au retard important qu'accuse en cette matière le secteur automobile de l'Italie face à ses concurrents : dans ce secteur, la densité robotique de l'Italie (749/10,000), en forte décroissance depuis une dizaine d'années, est largement surpassée par celles de la France (1671), du Canada (1593), des États-Unis (1528), de l'Allemagne (1395), du Japon (1269), de la Chine (1150) ou même du Royaume-Uni (782)[141].

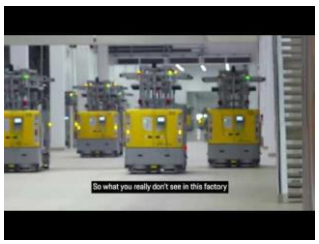
En excluant le secteur automobile de l'équation toutefois, une tout autre réalité se révèle : la densité robotique du manufacturier italien (le secteur n'ayant d'ailleurs pas perdu d'employés au cours des années 2010, demeurant toujours autour des 3,4 à 3,5 millions) est en fait parmi les plus élevées du monde à 196 robots/10,000 employés. En comparaison, le Japon en est à 300 et l'Allemagne à 216, mais les États-Unis (157), la France (131), la Chine (126), le Canada (88) et le Royaume-Uni (53) sont tous en retard[142].

Dans une foule de secteurs manufacturiers autres que celui de l'automobile, ainsi, l'Italie est l'un des pays les plus robotisés du monde. Nulle part l'avance de l'Italie en matière de robotisation n'est-elle aussi importante et croissante dans le secteur de la fabrication des aliments. Dans ce créneau, que l'on sait être l'une des grandes forces de l'industrie italienne (la chaîne de valeur complète de l'agroalimentaire italien représentait environ 25% du PIB national en 2021 et ses exportations de céréales/produits céréaliers, de vin, de fruits et légumes, de produits laitiers, de viande et autres s'élevaient au-delà des 50 milliards d'Euros)[143], l'avance de l'Italie est écrasante.

Entre 2011 et 2020, le stock de robots industriels opérationnels du secteur agroalimentaire italien a crû de 230% (contre 184% aux États-Unis, 121% au Japon, 97% au Royaume-Uni, 67% en France, 28% au Canada et 20% en Allemagne). En Italie, ce créneau concentre désormais plus de 15% des robots opérationnels dans tout le secteur manufacturier; seul l'agroalimentaire français s'approche de cette proportion, à environ 11%. Conséquemment, la densité robotique de l'agroalimentaire italien atteignait en 2019 les 228 robots/10,000 employés, contre de 10 à 85 pour tous les pays susmentionnés[144].

L'un des meilleurs exemples de cette maturité technologique supérieure du manufacturier alimentaire italien est peut-être la multinationale bien connue des pâtes, des sauces et de la boulangerie *Barilla*. L'un des plus grands complexes de production et de distribution de produits alimentaires du monde, l'usine et l'entrepôt de *Barilla* à Pedrignano ont été presque entièrement automatisées au cours des dix dernières années et sont devenus l'une des principales vitrines de l'agroalimentaire de fine pointe italien.

Réalisée essentiellement en collaboration avec le fabricant de robots et intégrateur de technologies de manutention italien *E80 Group*, l'automatisation du complexe Barilla a permis non seulement d'accroître considérablement sa productivité, mais aussi d'améliorer son efficacité énergétique globale de pas moins de 30%, réduisant ses émissions de CO2 de 40%, ses coûts de chauffage de 20%, et sa consommation d'eau de 23%[145]. *Barilla* envisage maintenant d'automatiser ses autres centres de production et de distribution italiens et internationaux de la même manière.



Au complexe de Pedrignano, le centre de distribution – par lequel transitent notamment 320 000 tonnes de pâtes alimentaires annuellement – est désormais équipé de plus de 100 véhicules autonomes à guidage

au laser et de plus d'une quarantaine de systèmes robotiques différents, tant pour le transport, le stockage et la récupération que pour la palettisation, l'emballage, l'étiquetage et la préparation à l'expédition[146]. Les véhicules autonomes à guidage laser utilisés sont dotées de batteries au lithium et des stations de recharge sans fil sont disposées à travers la chaîne de production/distribution de manière à minimiser leur temps d'inactivité. Seuls le chargement final, l'expédition elle-même, la supervision des opérations et la maintenance des équipements y nécessitent de la main d'œuvre.

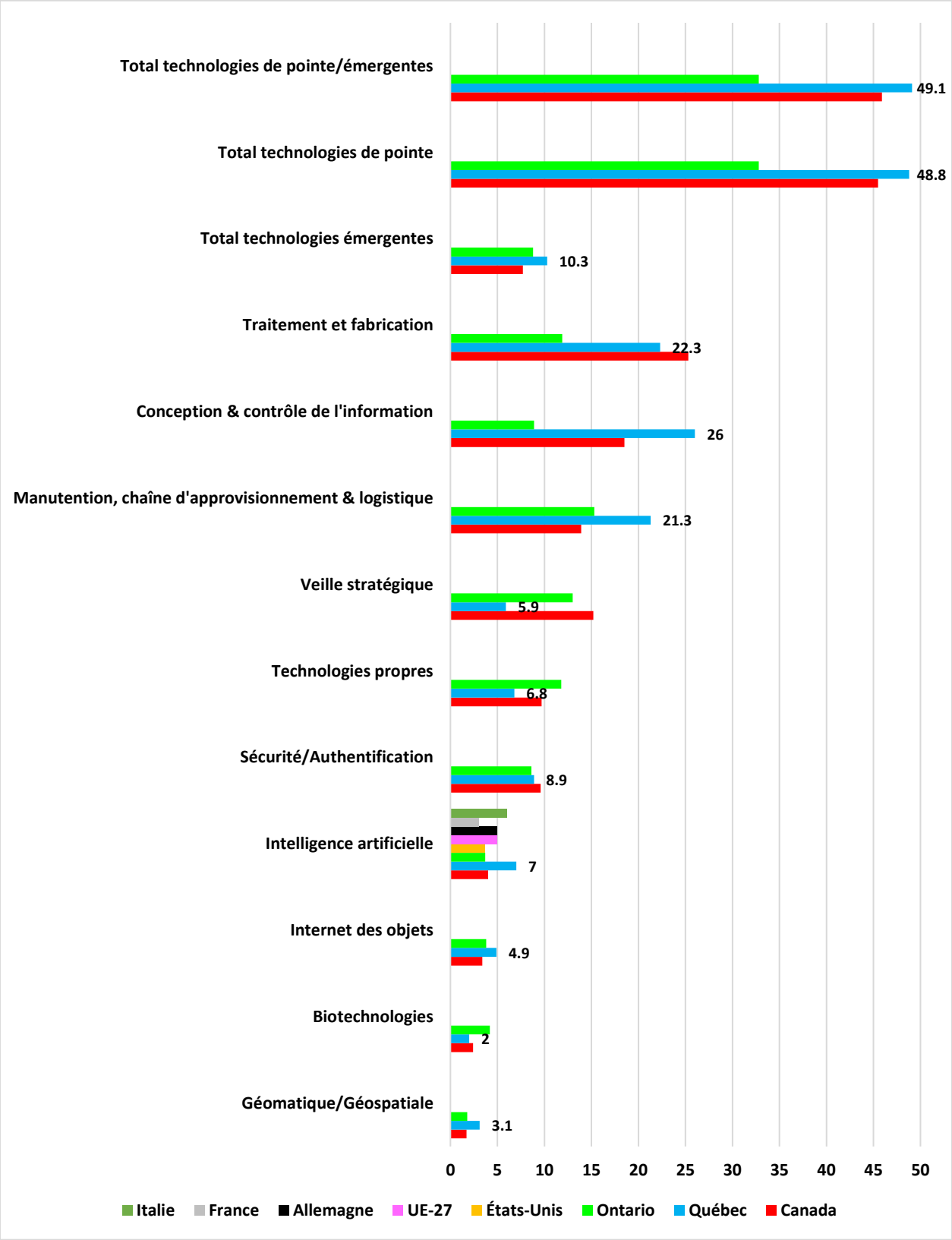
Outre le centre de distribution, l'usine de production du complexe de Pedrignano, qui est responsable de 25% de la production mondiale de pâtes alimentaires du groupe, est également hautement automatisée et numérisée. En collaboration avec la filiale de conseil du manufacturier automobile allemand *Porsche*, une stratégie d'amélioration continue a d'abord été mise en œuvre à l'usine de Pedrignano et sera étendue progressivement à tous les centres de production de *Barilla*. La robotisation des lignes de production, mais aussi l'implantation de systèmes d'interconnexion des équipements et d'analyse des données massives, ainsi que le développement de programmes de formation et de (re)qualification de la main d'œuvre, ont tous participé à cette transition au 4.0.[147]

D'autres complexes de production/distribution de *Barilla* en Italie, notamment à Foggia et à Castiglione delle Stiviere, sont déjà en voie d'être automatisés de cette manière[148].

L'avance, en termes de maturité technologique à l'échelle canadienne, de l'industrie québécoise de la fabrication des aliments semble d'ailleurs être confirmée par les données de Statistique Canada sur l'utilisation d'autres technologies 3.0. et 4.0. Dans un cas comme dans l'autre et à quelques exceptions près, les entreprises de l'industrie alimentaire québécoise sont (parfois largement) plus nombreuses, relativement parlant, que les entreprises ontariennes ou canadiennes à avoir passé le pas. *Les écarts favorables au Québec sont particulièrement importants dans les créneaux des technologies de traitement et de fabrication; de conception et de contrôle de l'information; de manutention, de logistique et de gestion des chaînes d'approvisionnement; puis d'intelligence artificielle*. Dans ce dernier cas d'ailleurs, les données disponibles indiquent même que l'industrie québécoise de la fabrication des aliments est parmi les plus avancées du monde, alors que même les entreprises italiennes ou, en moyenne, européennes utilisent un peu moins l'intelligence artificielle que ce n'est le cas des entreprises québécoises (voir à ce titre le cas intéressant de l'entreprise spécialisée en agrotechnologies *Ferme d'Hiver*, présenté ci-bas).

En revanche, le Québec semble accuser un léger retard sur l'Ontario et/ou le Canada, dans ce secteur, quant à l'utilisation des technologies de veille stratégique et (ici encore) des technologies propres. La situation actuelle de l'industrie alimentaire québécoise est donc nuancée : si, à l'échelle canadienne, sa densité robotique et plus largement, sa maturité technologique se révèlent supérieures, à l'échelle internationale demeure un retard important à combler, ne serait-ce qu'en matière de robotisation.

Graphique 71. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication des aliments utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes (2017-2021)[149]



Étude de cas #8 : Ferme d'Hiver

Entreprise spécialisée en agrotechnologies, qui propose aux maraîchers une solution clef en main de production intérieure à grand volume. La Ferme d'Hiver est un concept alliant les principes de l'agriculture verticale à l'ingénierie de systèmes et à l'intelligence artificielle. Elle s'intègre aux serres conventionnelles pour maximiser la production locale de fruits et légumes à l'année longue.

Création : 2018
Siège social : Brossard
Usine : Vaudreuil
Employés : 20
Produits/services principaux : la « Ferme d'Hiver », unité d'agriculture verticale intérieure contrôlée à 100% intégrant un système de redistribution de la chaleur lumineuse pour alimenter une culture en serre attenante
Marchés : en date de 2022, le Québec; à terme, les marchés canadien et internationaux
Clients : maraîchers et producteurs agricoles (pour l'intégration de l'unité « Ferme d'hiver » à leurs infrastructures existantes); consommateurs (pour les produits *Fraise d'hiver* et *Champignon d'hiver*)

Innovation : Concept de ferme verticale intégrée aux serres pour la production de fraises à grand volume. Le concept comprend l'unité de production verticale, le système de redistribution de chaleur et un système d'aide à la décision nommé CERVEAU. Ce dernier est basé sur l'intelligence artificielle et contribuera à l'orchestration des données pour optimiser et automatiser les contrôles climatiques dans la Ferme d'Hiver.

Historique de l'entreprise

Sensible aux enjeux de changements climatiques, de sécurité alimentaire et de pérennité de la profession de maraîchers, Yves Daoust fonde Ferme d'Hiver en 2018. Il a comme intention d'utiliser les technologies et l'ingénierie pour développer des solutions aux grands problèmes auxquels font face les agriculteurs et le système alimentaire au Québec. Il mise sur l'agriculture verticale, l'ingénierie de systèmes et l'intelligence artificielle pour développer un concept unique au monde de ferme verticale intégrée à des serres conventionnelles. En 2021, la première Ferme d'Hiver commerciale est inaugurée grâce à un partenariat avec *Les Serres Vaudreuil*. Depuis, à chaque hiver, la Fraise d'hiver fait son apparition sur les tablettes des supermarchés IGA et offre une alternative locale et sans pesticides chimiques aux fruits de la Californie et du Mexique. En 2022, la phase II de la Ferme d'Hiver de Vaudreuil est mise en opération.

Historique des technologies d'automatisation/numérisation

Une Ferme d'Hiver est un environnement de production verticale contrôlé à 100%, qui reproduit tous les éléments nécessaires à la culture de la fraise. La pluie, le vent et le soleil sont recréés à l'aide de systèmes d'ingénierie automatisés et les plants de fraises se superposent en gouttières sur 14 étages. Déjà bien intégrés à l'écosystème agricole, ces systèmes de contrôle climatique et de mesures environnementales demeurent fragmentés et nécessitent du développement pour les harmoniser pour la Ferme d'Hiver.

Le projet d'automatisation de la production de Ferme d'Hiver, nommé « CERVEAU », utilisera une approche multidisciplinaire pour répondre aux enjeux d'orchestration des systèmes. Le projet vise à améliorer la performance financière, agronomique et écologique de la Ferme d'Hiver et, par le fait même, de la serre à laquelle elle est intégrée. En 2020-2021, Ferme d'Hiver a reçu un soutien financier clé d'Investissement Québec et en janvier 2022, le projet CERVEAU a reçu un financement important de la part de *Technologies du développement durable Canada*. Les travaux ont débuté en mars 2022 et s'échelonneront jusqu'en novembre 2025.

Principales technologies utilisées

- Systèmes mécaniques de contrôle de l'environnement de pointe (CVCA, irrigation, etc.)
- Lumières LED refroidies à l'eau conçues par Ferme d'Hiver (dont la chaleur est récupérée pour chauffer des serres adjacentes)
- Système de capture et d'analyse des données environnementales et agronomiques
- Système d'aide à la décision en développement (CERVEAU)
- Berceau (structure dans laquelle les plants débutent leur croissance jusqu'à l'étape de floraison)

Principaux avantages liés aux technologies utilisées

Des fermes + productives

- Production hors-saison exempte de dépendance à la météo (beaucoup moins de risques)
- Densité de production 13 fois plus élevée (160kg/m2) qu'en serre conventionnelle
- Temps de travail, de récolte et d'entretien optimisés

Des fermes + écologiques

- 30% moins d'énergie consommée par tonne produite qu'en serre conventionnelle
- Production entièrement issue de l'hydroélectricité
- Grâce à la technologie de redistribution de chaleur : réduction substantielle des émissions de GES des serres
- Réduction des distances de transport des aliments
- Aucune utilisation de pesticides chimiques
- Aucun rejet nocif dans l'environnement

Des fermes + profitables :

- Dépenses d'investissement en capital (CAPEX) environ 50% inférieures à celles requises pour une serre conventionnelle (1150m^2 en Ferme d'Hiver équivalent à plus de 2,5 hectares de serres en termes de production)
- Meilleure planification des revenus grâce aux contrats à terme signés avec les détaillants
- Dépenses d'opérations croisées entre la Ferme d'Hiver et la serre : ressources financières, humaines et matérielles

Impacts sur l'utilisation de la main d'œuvre

- Emplois garantis à l'année pour les opérations agricoles; stabilité de la main-d'œuvre
- Conditions de travail plus faciles qu'en champ : travail debout ou assis et dans des conditions climatiques appropriées
- Utilisation croisée des ressources humaines pour les activités de la Ferme d'Hiver et de la serre conventionnelle (réduction des dépenses d'exploitation - OPEX)
- Création d'emplois hautement qualifiés pour le développement et l'utilisation des technologies numériques, de l'agronomie et de valorisation des données

Principales stratégies d'affaires liées au développement de ces nouvelles technologies

- Collaborations industrie-universités : partenariats, participation à des projets de recherche conjoints, etc. (ex : IVADO, Université de Montréal, École de technologie supérieure, Université Laval)

- Tisser d'autres partenariats avec des maraîchers locaux pour atteindre un objectif de substitution de 10% des importations de fraises au Canada
- Diversifier les variétés de production pour accentuer la substitution des importations de fruits et de légumes
- Développer les connaissances pour identifier les meilleures variétés pour la culture en environnement contrôlé

Chapitre 4. Le secteur des produits chimiques et pharmaceutiques

Faits saillants

- *En termes de productivité du travail dans le secteur des produits pharmaceutiques, le Québec ne fait pas très bonne figure : à un peu plus de 112 000 $US par emploi en date de 2019, le Québec était bon dernier parmi les économies recensées, loin derrière l'Ontario, avant-dernière à 171 000 $US par emploi.*

- *Dans le secteur des produits pharmaceutiques, le Québec se retrouve en milieu de peloton, en matière de dépenses en R&D, parmi les économies recensées. À un peu plus de 58 500 $US en dépenses de R&D par million $US de PIB, le Québec dépassait en 2019 l'Ontario (46 500 $US) et le Canada (45 000 $US), mais également plusieurs puissances importantes de ce secteur dont la Chine (47 000 $US), le Royaume-Uni (39 000 $US), la France (45 000 $US) et l'Italie (49 000 $US).*

- *Le Québec demeure, avec l'Italie puis tout juste devant le Royaume-Uni et la France, parmi les juridictions dont la productivité du capital dans le secteur des produits pharmaceutiques est la plus élevée. À environ 5 $US de PIB pour chaque dollar investi en capital fixe, le Québec surpassait effectivement en 2019 la productivité du capital ontarienne (4 $US), canadienne (4,2 $US), mais également allemande (4,5 $US), japonaise (2,75 $US) et américaine (2,6 $US).*

- *Le secteur pharmaceutique a clairement été au cours des années 2010, dans les économies avancées, l'un de ceux au sein desquels la robotisation s'est accrue le plus, derrière celui de la machinerie industrielle mais devant celui de la fabrication des aliments. Même si elle ne détonne pas complètement dans ce contexte, la performance du Canada à cet égard est néanmoins particulièrement remarquable : la croissance du stock robotique dans cette industrie au Canada a été, à près de 700% entre 2011 et 2020, la plus forte parmi les pays recensés à l'exception de la Chine (2210%).*

- *L'industrie pharmaceutique québécoise est parmi les plus technologiquement matures au Canada et même, à l'échelle internationale. À environ 1,6%, selon nos estimations, du stock robotique total du secteur manufacturier (2019), l'industrie pharmaceutique québécoise pèse cependant moins lourd qu'à l'échelle canadienne (2,5%) ou que ses concurrentes italienne (4,1%), britannique (3,6%), française (3,1%), américaine (2,9%) et allemande (1,7%).*

- *Dans ce créneau plus large des produits chimiques (incluant le pharmaceutique mais excluant la pétrochimie), nous avons estimé à 64 robots/10,000 employés la densité*

robotique québécoise, ce qui la situerait entre l'Allemagne à 64/10,000 également, puis la France à 71/10,000. Le Canada, à 80/10,000, est en devant de peloton au-dessus du Japon (74) mais derrière les États-Unis (86) et l'Italie (138), alors que la Chine (26) peine encore, malgré une robotisation massive, à rejoindre les économies avancées à cet égard.

- *Dans le secteur pharmaceutique, on note que si le Québec accuse un léger retard en matière d'adoption des technologies d'automatisation 3.0., des avances importantes s'observent en revanche pour plusieurs classes de technologies émergentes/4.0. : fabrication additive, géomatique/géospatiale et réalité virtuelle y sont ainsi assez largement plus utilisées qu'ailleurs au Canada, tout comme d'ailleurs l'intelligence artificielle, pour laquelle le Québec se rapproche même des moyennes européennes, beaucoup plus élevées.*

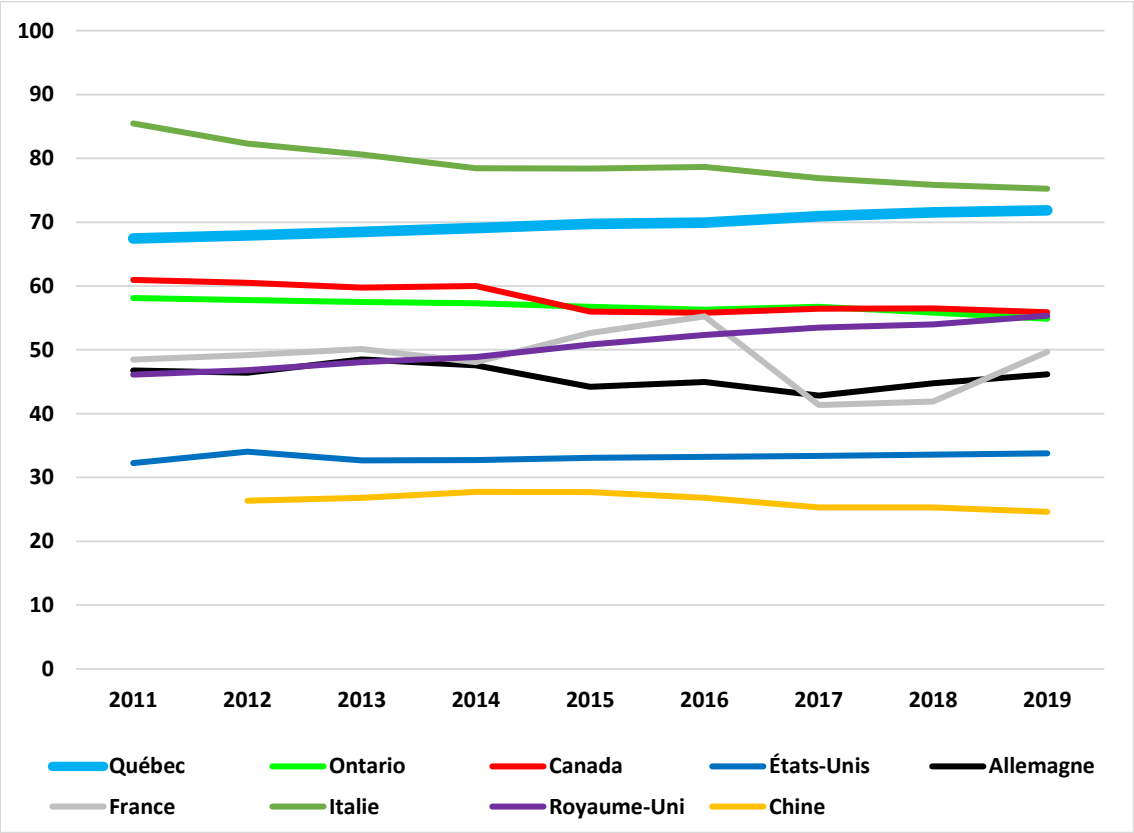
- *Dans le secteur de la fabrication des produits chimiques plus généralement, on remarque aussi un (très) léger retard pour l'adoption des technologies d'automatisation 3.0., mais sur le plan des technologies émergentes/4.0., les écarts sont importants et encore à l'avantage du Québec. Les biotechnologies (à l'inverse du seul secteur pharmaceutique) et les nanotechnologies, en particulier, semblent être beaucoup plus largement utilisées par l'industrie chimique québécoise qu'en Ontario ou ailleurs au Canada.*

4.1. Caractéristiques économiques comparées

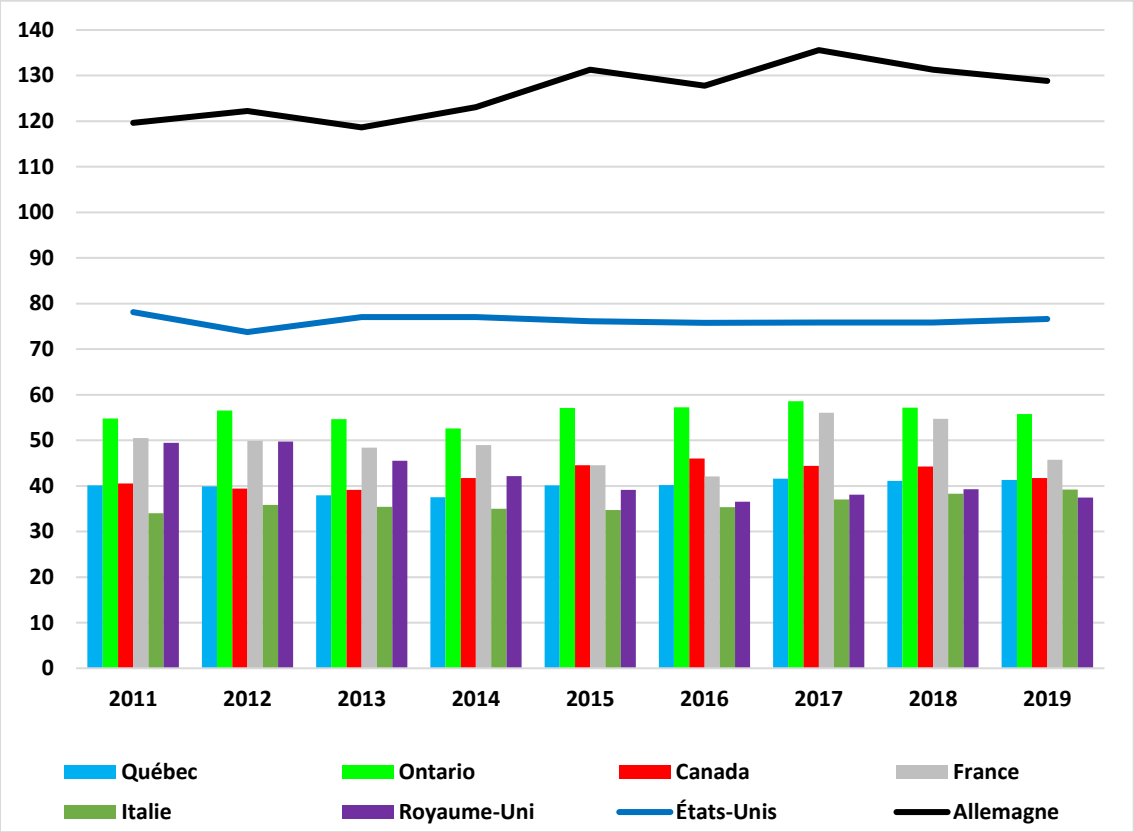
➢ Dans le secteur des produits pharmaceutiques, le Québec possède l'une des plus fortes densité d'entreprises parmi les pays recensés, à 72 entreprises par million d'habitants. Le Québec se situe ainsi tout juste derrière l'Italie (75/million), mais loin devant le Canada (56), l'Ontario (55), le Royaume-Uni (55), la France (50), l'Allemagne (46), les États-Unis (34) et la Chine (25).

➢ Le Québec est également, avec le Royaume-Uni et les États-Unis, la seule juridiction recensée où la densité d'entreprises dans le secteur des produits pharmaceutiques a connu une croissance au cours des années 2010, étant passée de 67 à 72 entreprises par million d'habitants entre 2011 et 2019.

Graphique 72. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteur des produits pharmaceutiques[150]



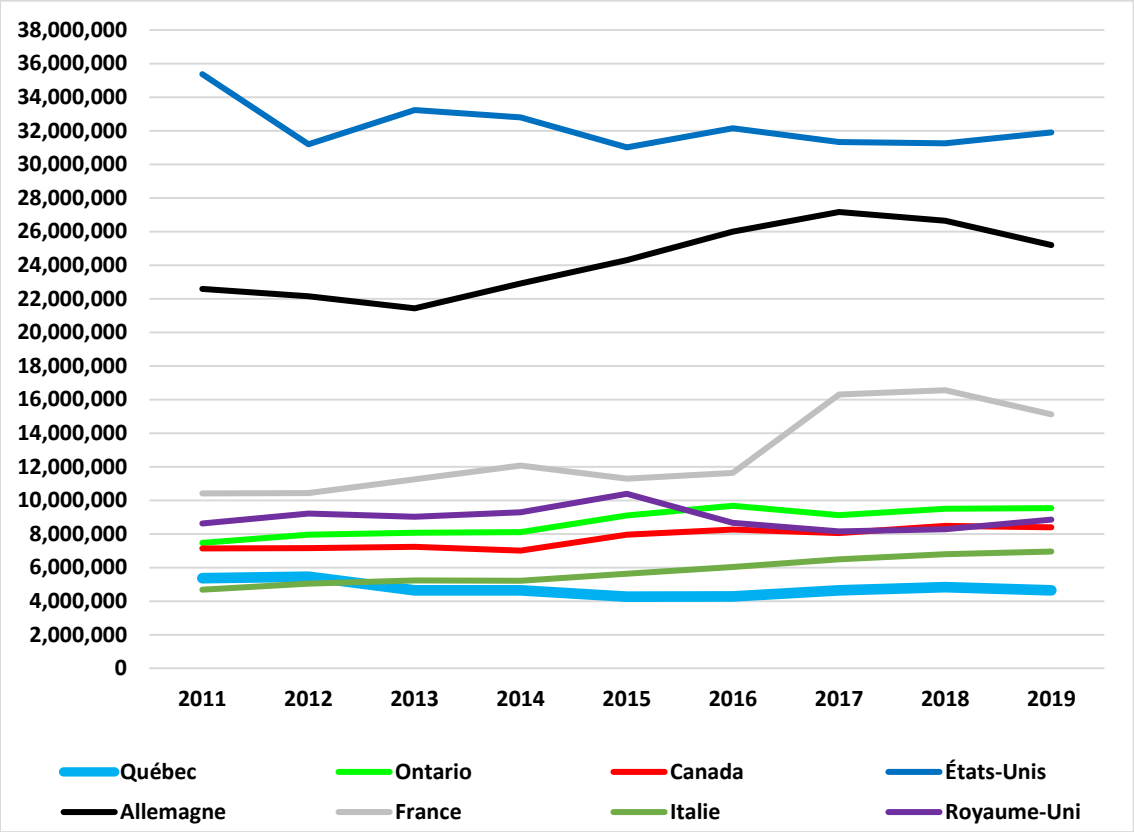
Graphique 73. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur des produits pharmaceutiques[151]



➢ Puisque le Québec possède une forte densité d'entreprises dans le secteur des produits pharmaceutiques, il n'est pas surprenant de constater que la taille moyenne de ces entreprises est parmi les plus faible au sein de notre échantillon. À environ 41 employés par entreprise dans ce secteur, en moyenne, en date de 2019, le Québec se situe très loin derrière l'Allemagne (129 employés par entreprise), les États-Unis (77) et l'Ontario (56), qui ont les plus grandes entreprises pharmaceutiques.

➢ Pour cet indicateur et en date de 2019, le Québec se comparait plutôt au Canada dans son ensemble (42 employés par entreprise), à la France (46), au Royaume-Uni (37) ou à l'Italie (39). La France et le Royaume-Uni ont toutefois vu la taille moyenne de leurs entreprises pharmaceutiques reculer légèrement depuis le début des années 2010, alors que cette taille moyenne est demeurée stable au Québec durant cette période. L'Italie et l'Allemagne, à l'inverse, ont vu la taille moyenne de leurs entreprises dans ce secteur s'accroître légèrement au cours de la décennie 2010.

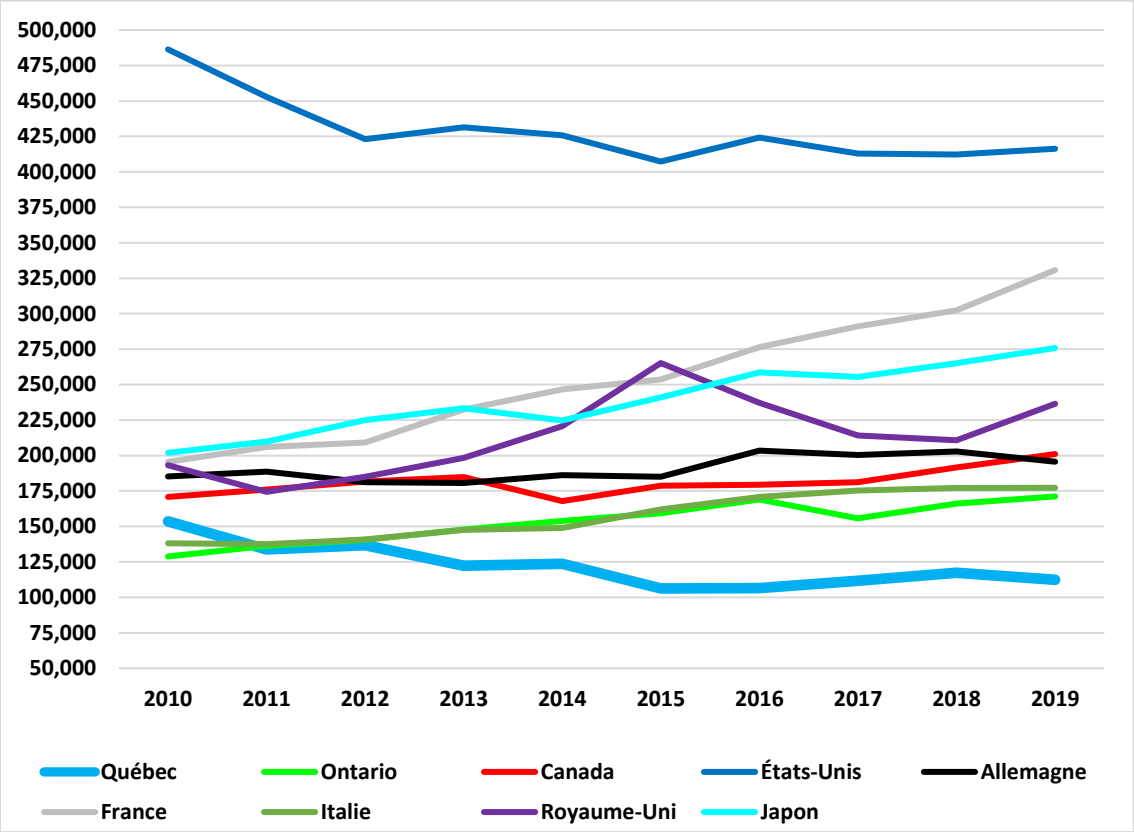
Graphique 74. PIB par entreprise, secteur des produits pharmaceutiques ($ US constants de 2015)[152]



➢ En termes de production moyenne par entreprise dans le secteur des produits pharmaceutiques, les États-Unis et l'Allemagne, qui ont également les plus grandes entreprises du secteur parmi les pays recensés, sont très en avance sur leurs concurrents. À près de 32 millions $US et à plus de 25 millions $US de PIB par entreprise, respectivement, dans ce secteur en date de 2019, les États-Unis et l'Allemagne surpassent de loin la France (15 millions $US), qui arrive en troisième place.

➢ Le Québec, dont la proportion de PME dans ce secteur des produits pharmaceutiques est importante, est parmi les pays recensés celui dont la production par entreprise est la plus faible : à un peu plus de 4,6 millions $US par entreprise en 2019, le Québec était ainsi en retard sur l'Italie (7 millions $US) mais également sur le Canada dans son ensemble (8,4 millions $US), le Royaume-Uni (8,9 millions $US) et l'Ontario (9,5 millions $US).

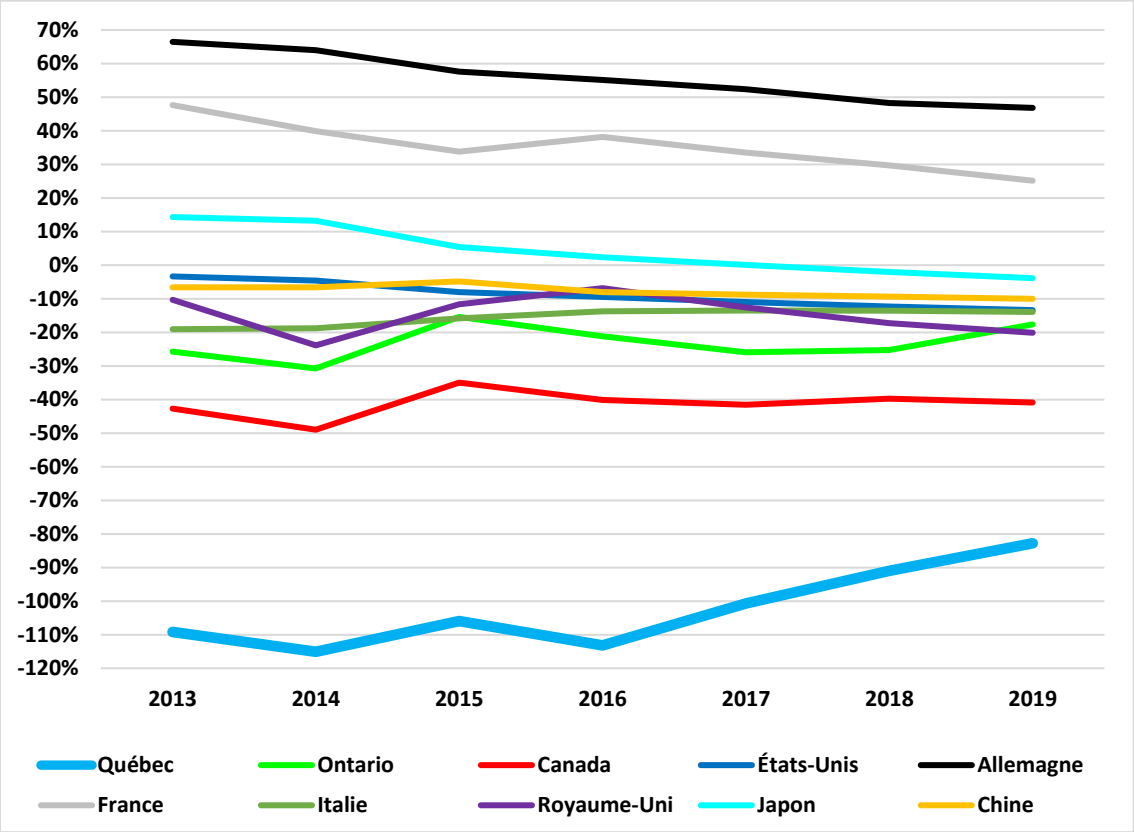
Graphique 75. PIB par emploi, secteur des produits pharmaceutiques ($ US constants de 2015)[153]



➢ En termes de productivité du travail dans le secteur des produits pharmaceutiques, le Québec ne fait pas très bonne figure : à un peu plus de 112 000 $US par emploi en date de 2019, le Québec était bon dernier parmi les économies recensées, loin derrière l'Ontario, avant-dernière à 171 000 $US par emploi, l'Italie (177 000 $US), l'Allemagne (196 000 $US), le Canada (201 000 $US), le Royaume-Uni (236 000 $US) et surtout, très loin derrière le Japon (276 000 $US), la France (331 000 $US) et les États-Unis (416 000 $US).

➢ Le déclin relatif du secteur pharmaceutique québécois au cours de la première moitié des années 2010, puis la transition vers un secteur davantage dominé par les secteurs de la R&D, des (bio)technologies médicales et de la fabrication contractuelle et générique peuvent expliquer en partie la plus faible productivité du travail québécoise dans ce créneau, de même le recul de cette productivité entre 2010 (154 000 $US par emploi) et 2019 (112 000 $US).

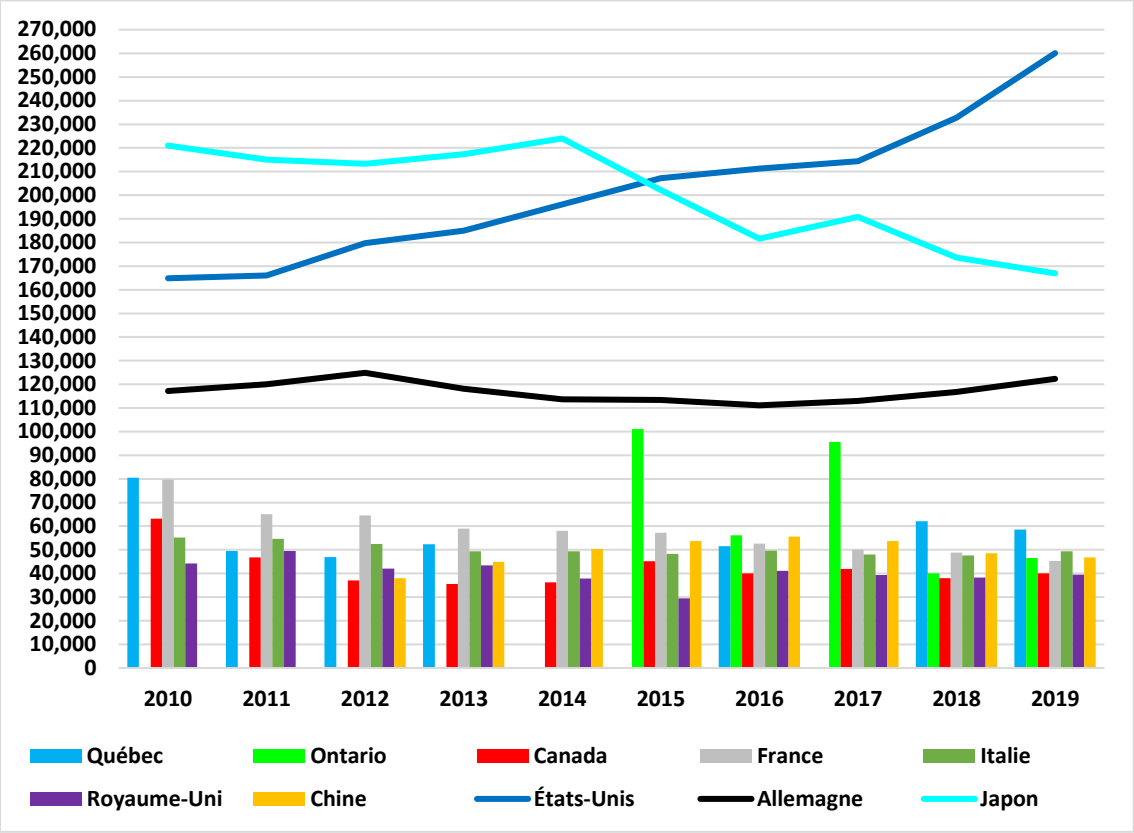
Graphique 76. Valeur de la balance commerciale du secteur des produits pharmaceutiques en % du PIB du secteur des produits pharmaceutiques[154]



➢ Malgré une amélioration notable entre 2016 et 2019, le Québec demeure de loin, parmi les juridictions recensées, celle dont le déficit de la balance commerciale dans le secteur des produits pharmaceutiques est la plus importante. À 83% du PIB de ce secteur au Québec en date de 2019, le déficit commercial du créneau des produits pharmaceutiques y est beaucoup plus important qu'à l'échelle du Canada (41% du PIB sectoriel) ou de l'Ontario (17% du PIB sectoriel).

➢ Même si les déficits commerciaux québécois et canadien dans le secteur des produits pharmaceutiques sont particulièrement important, il convient de noter également que seulement deux pays, parmi notre échantillon, maintiennent des surplus commerciaux dans ce secteur : l'Allemagne et la France. Leurs surplus commerciaux sont d'ailleurs en déclin continuel depuis le début des années 2010. Pour leur part le Japon, la Chine, les États-Unis, l'Italie et le Royaume-Uni sont légèrement déficitaires, sur le plan commercial, dans ce secteur.

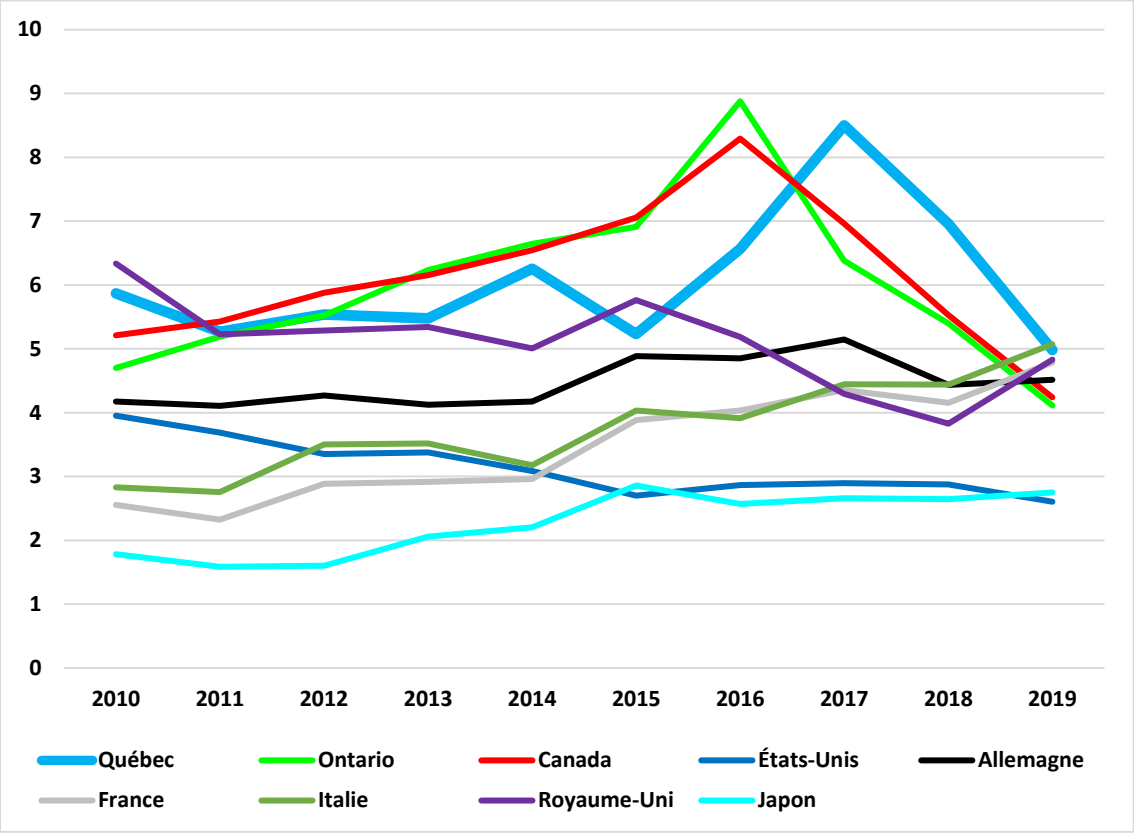
Graphique 77. Dépenses en R&D du secteur des produits pharmaceutiques pour chaque million $ de PIB du secteur des produits pharmaceutiques ($ US constants de 2015)[155]



➢ Dans le secteur des produits pharmaceutiques, le Québec se retrouve en milieu de peloton, en matière de dépenses en R&D, parmi les économies recensées. À un peu plus de 58 500 $US en dépenses de R&D par million $US de PIB, le Québec dépassait en 2019 l'Ontario (46 500 $US) et le Canada (45 000 $US), mais également plusieurs puissances importantes de ce secteur dont la Chine (47 000 $US), le Royaume-Uni (39 000 $US), la France (45 000 $US) et l'Italie (49 000 $US). Néanmoins, le Québec demeure loin derrière les géants que sont l'Allemagne (122 000 $US), le Japon (167 000 $US) et les États-Unis (260 000 $US).

➢ En raison de la faible disponibilité et de la fiabilité inégale des données, il est difficile d'établir avec confiance des tendances longitudinales pour le Québec, mais il semble les dépenses en R&D dans le secteur des produits pharmaceutiques aient légèrement décliné au cours de la première moitié des années 2010, avant de connaître un certain regain durant la seconde moitié de la décennie. Si cela s'avère, le Québec serait, avec les États-Unis, l'Allemagne et le Royaume-Uni, parmi les seules juridictions ayant connu une croissance relative de leurs dépenses en R&D dans ces secteurs au cours de la seconde moitié des années 2010.

Graphique 78. PIB du secteur des produits pharmaceutiques pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur des produits pharmaceutiques ($ US constants de 2015)[156]



➢ Malgré des fluctuations importantes au cours de la seconde moitié des années 2010, le Québec demeure, avec l'Italie puis tout juste devant le Royaume-Uni et la France, parmi les juridictions dont la productivité du capital dans le secteur des produits pharmaceutiques est la plus élevée. À environ 5 $US de PIB pour chaque dollar investi en capital fixe, le Québec surpassait effectivement en 2019 la productivité du capital ontarienne (4 $US), canadienne (4,2 $US), mais également allemande (4,5 $US), japonaise (2,75 $US) et américaine (2,6 $US).

➢ De manière générale, il semble que dans le secteur des produits pharmaceutiques, la productivité du capital américain soit en déclin depuis le début des années 2010, tout comme celle du Royaume-Uni, du Canada, de l'Ontario et dans une moindre mesure, du Québec. À l'inverse le Japon, l'Allemagne et surtout, la France et l'Italie ont vu leur productivité du capital s'accroître dans ce secteur depuis 2010.

4.2. Maturité technologique comparée

Tableau 17. Stock robotique du secteur des produits chimiques/pharmaceutiques (ISIC 20-21, 2020)[157]

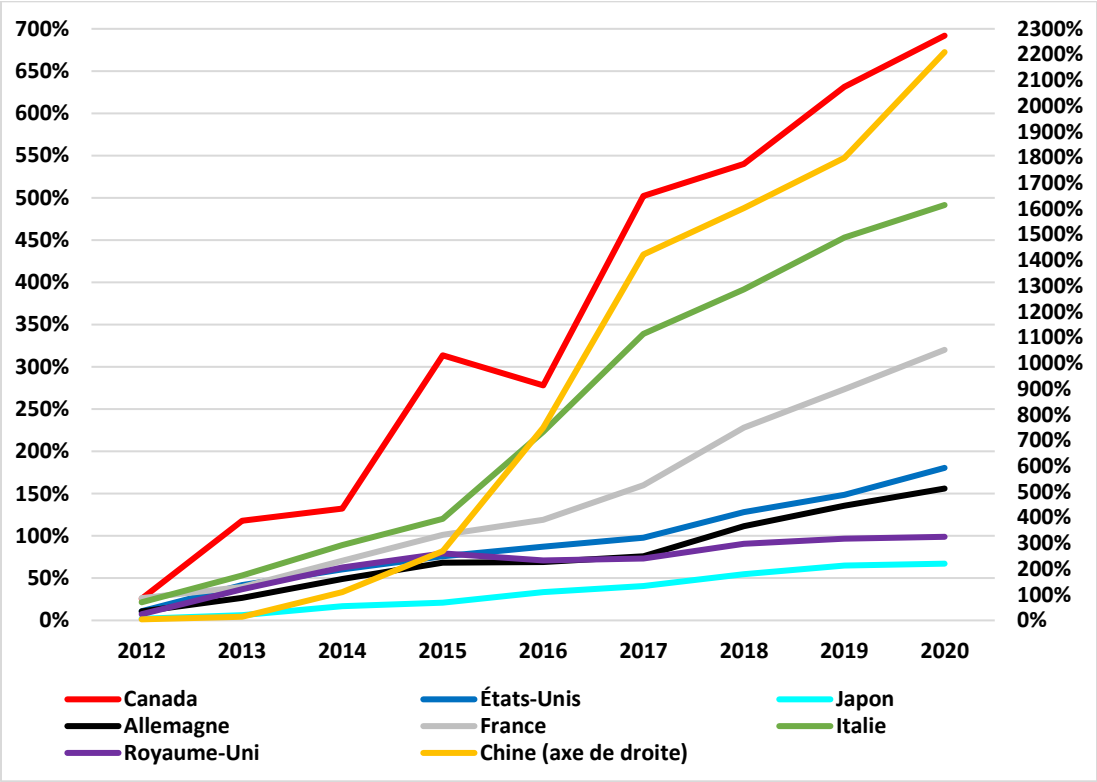
Québec	Canada	États-Unis	Royaume-Uni	France	Allemagne	Italie	Japon	Chine
158	718	8291	781	1211	3438	2519	3592	8622

La crise sanitaire liée à la COVID-19 en a donné un avant-goût spectaculaire, mais plus généralement *le vieillissement des populations dans nombre d'économies industrielles avancées dont le Québec engendre déjà et induira sur le secteur pharmaceutique, dans les années à venir comme à moyen terme, une forte pression à l'innovation et à la productivité. L'accroissement des cadences de production, la réduction du coût des médicaments et la découverte de nouvelles molécules comme de nouvelles technologies de traitement s'imposeront malgré les tensions parfois contradictoires que cela implique et par conséquent, l'innovation et la modernisation technologiques devront être au cœur du renouvellement de ce secteur au cours des prochaines décennies*. Évidemment, tout cela devra qui plus est se déployer dans l'environnement existant de stricte réglementation sanitaire et dans le cadre des fortes contraintes qui caractérisent, notamment, l'entreposage et le transport des médicaments et autres vaccins[158]. Dans ce contexte, la robotisation et plus largement, l'utilisation des technologies émergentes sont évidemment appelées à s'accélérer considérablement – pensons notamment aux les nano/biotechnologies et à l'impression 3D mais surtout, à l'analyse des données massives par intelligence artificielle, qui permet la découverte de nouvelles molécules (voir à ce sujet l'étude de cas sur la britanno-suédoise *AstraZeneca* et la jeune pousse de l'intelligence artificielle *Benevolent*^{AI}, présentée plus loin).

La robotique, effectivement de plus en plus largement utilisée par l'industrie pharmaceutique, peut jouer des rôles cruciaux à tous les maillons de la chaîne de valeur du secteur, de la recherche fondamentale par manipulations ultraprécises de matériel génétique, biologique et chimique à la transformation en environnements stériles et jusqu'au contrôle de la qualité ou à l'emballage[159]. Bien que son ampleur soit particulièrement évocatrice, il n'est donc pas surprenant de constater que la croissance des stocks nationaux de robots opérationnels du secteur pharmaceutique ait été extrêmement forte au cours des années 2010. *La forte croissance du secteur pharmaceutique canadien, en particulier depuis 2014-2015 – entre 2014 et 2020, le nombre d'emplois dans ce secteur a crû de plus de 20%*[160] *– s'est d'ailleurs également observée au niveau de sa robotisation, la croissance du stock robotique dans cette industrie au Canada ayant été, à près de 700% entre 2011 et 2020, la plus forte parmi les pays recensés à l'exception (encore et toujours) de la Chine (2210%)*. À tout près de 500% de croissance, l'industrie pharmaceutique italienne s'est également robotisée à grande vitesse au cours des années 2010, et on peut en dire autant dans le cas de la France (320% de croissance). Dans tous ces cas, la volonté de restructurer l'industrie et en particulier, de substituer une production locale à une partie des importations de médicaments de

base afin de renforcer l'autonomie stratégique nationale semble avoir stimulé l'innovation et la modernisation (notamment robotique) des entreprises.

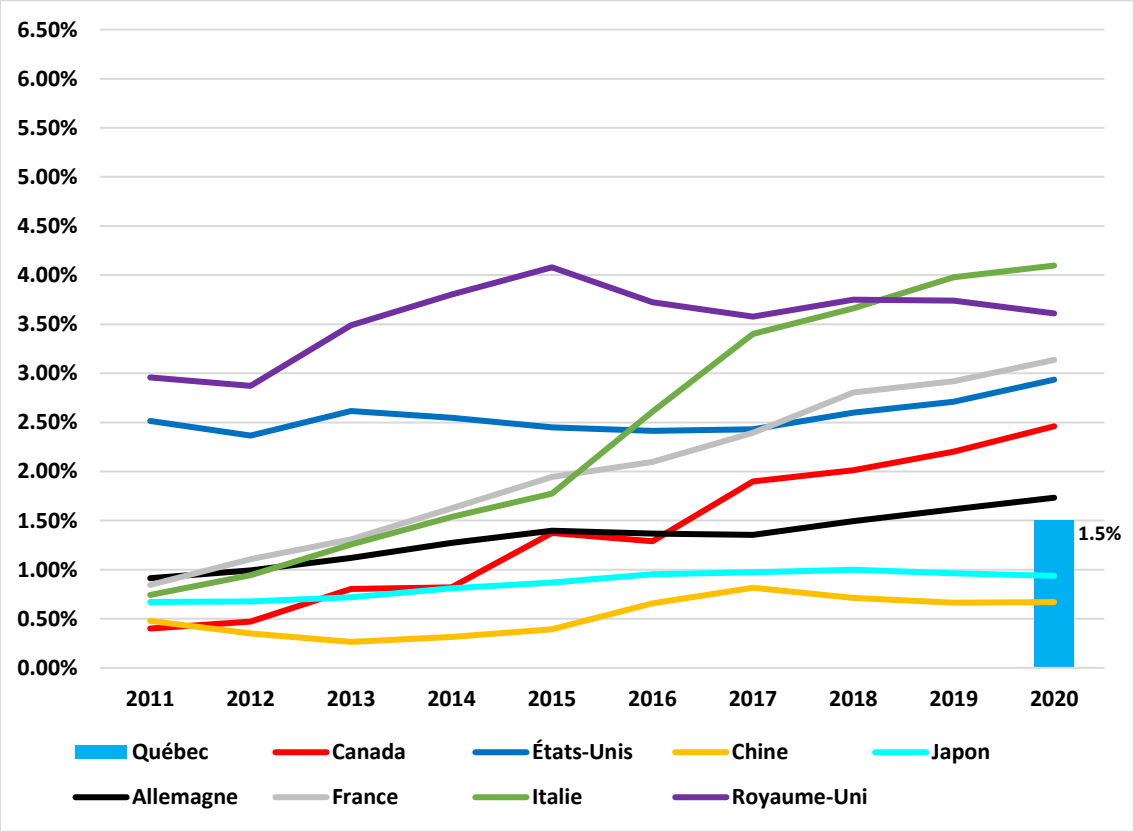
Graphique 79. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur pharmaceutique (ISIC 21) (année de référence = 2011)[161]



Car on le voit bien : les grandes puissances actuelles de l'industrie pharmaceutique que sont notamment les États-Unis, l'Allemagne et le Japon (et dans une moindre mesure, le Royaume-Uni), entre autres parce qu'elles sont déjà largement autonomes en la matière, n'ont pas nécessairement cette motivation ou du moins, pas dans la même mesure et ont pour leur part connu dans ce secteur une croissance du stock robotique moins dynamique (quoique forte néanmoins) au cours de la même période (de 181%, 156% et 67%, respectivement). De manière générale toutefois, *le secteur pharmaceutique a clairement été au cours des années 2010, dans les économies avancées, l'un de ceux au sein desquels la robotisation s'est accrue le plus, derrière celui de la machinerie industrielle mais devant celui de la fabrication des aliments*. Même si elle ne détonne pas complètement dans ce contexte, la performance du Canada à cet égard est néanmoins particulièrement remarquable et renvoie à la fois à la croissance du secteur et à l'importance des activités de R&D auxquelles cette industrie donne lieu. Entre 2011 et 2019 ainsi, les ventes du pharmaceutique canadien se sont accrues de plus de 35% et le secteur s'est maintenu parmi le top-3 des industries canadiennes en matière d'intensité de la R&D (bien que celle-ci soit de plus en plus externalisée et confiées aux fonds de capital de risque, aux jeunes pousses des biotechnologies ainsi qu'aux entreprises de recherche contractuelle, pour la plupart des PME à la fine pointe[162].

À ce sujet d'ailleurs, il faut bien noter que *le Québec contribue largement à cette modernisation et à cette croissance du secteur pharmaceutique canadien*. Malgré un certain déclin, notamment attribuable aux délocalisations vers la Chine et l'Inde, de la grappe montréalaise des grandes entreprises pharmaceutiques intégrées dans la foulée de la crise financière de 2008 (pensons aux départs des laboratoires Merck, Pfizer, AstraZeneca, ou GSK)[163], les créneaux plus nichés de la R&D, des (bio)technologies médicales et de la fabrication contractuelle et générique ont pour leur part connu une croissance importante durant cette période[164]. Près de 30% des dépenses en R&D pharmaceutique réalisées annuellement au Canada le sont ainsi au Québec[165] et de ce point de vue, il n'est donc pas surprenant de constater qu'à plusieurs égards, l'industrie pharmaceutique québécoise est parmi les plus technologiquement matures au Canada et même, à l'échelle internationale. *À environ 1,5%, selon nos estimations, du stock robotique total du secteur manufacturier (2020), l'industrie pharmaceutique québécoise pèse cependant moins lourd qu'à l'échelle canadienne (2,5%) ou que ses concurrentes italienne (4,1%), britannique (3,6%), française (3,1%), américaine (2,9%) et allemande (1,7%).*

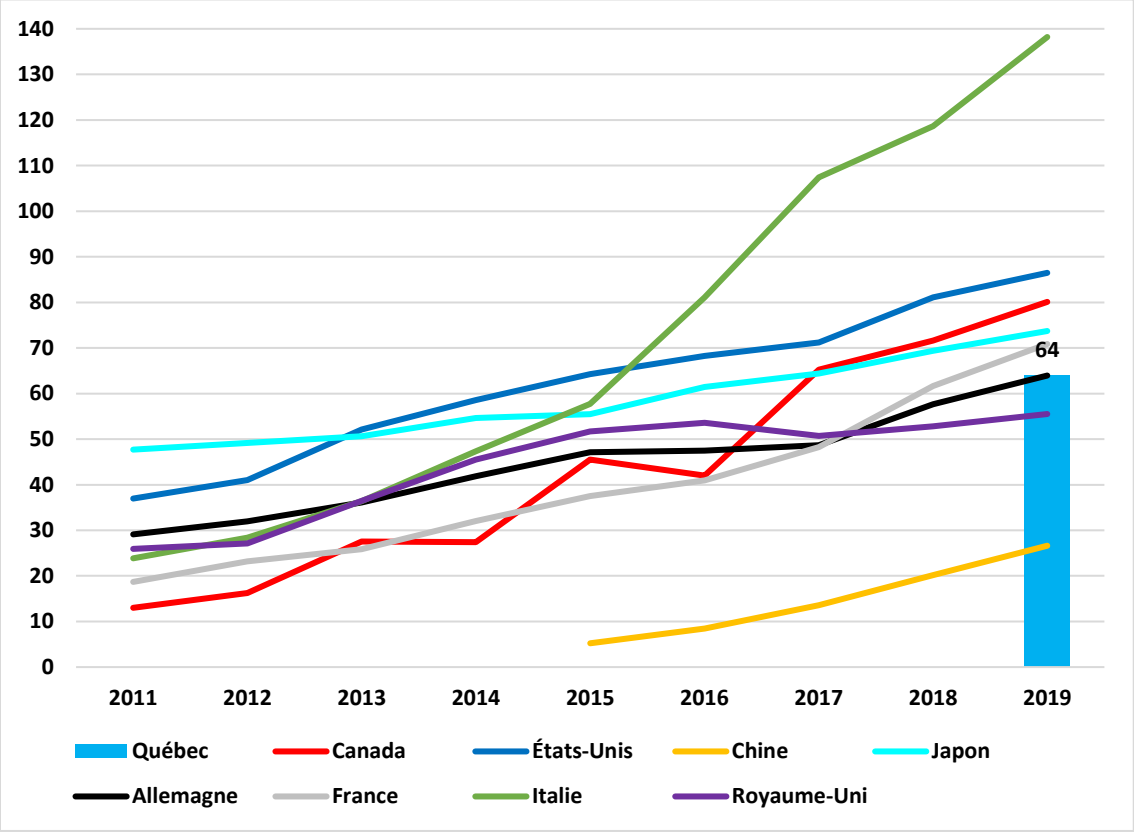
Graphique 80. Stock de robots industriels opérationnels du secteur pharmaceutique (ISIC 21) en % du stock total du secteur manufacturier, par pays[166]



Il est également intéressant, pour obtenir un portrait un peu plus complet, d'élargir l'analyse à l'industrie chimique en général, qui comprend le pharmaceutique mais aussi les pesticides, engrais et fertilisants, les peintures et revêtements, les fibres synthétiques, les polymères, les bioproduits

industriels tels que les carburants renouvelables (biomasse), les produits chimiques de base, etc. La modernisation technologique et la robotisation de ce secteur, déjà relativement avancées, seront également des tendances lourdes à court, moyen et long termes en raison des multiples avantages qu'elles confèreront en matière d'invention de nouveaux composés organiques et inorganiques, de manipulation précise des matières dangereuses, d'innovation au niveau des procédés de production, d'efficacité énergétique et de gestion des résidus, d'emballage spécialisé et autres. *Dans ce domaine de la fabrication des produits chimiques également, d'ailleurs, le Québec possède (en excluant même la pétrochimie) un écosystème industriel important et moderne, qui alimente d'ailleurs en amont plusieurs autres secteurs d'importance pour la province dont l'agroalimentaire, les mines, les produits minéraux non-métalliques, la métallurgie ou les pâtes et papiers*. En témoigne la présence de plusieurs centaines de PME mais également, de joueurs majeurs tels que *Premier Tech* et de multinationales comme *Air Liquide*.

Graphique 81. Densité robotique du secteur des produits chimiques/pharmaceutiques (ISIC 20-21) (robots opérationnels/10,000 employés)[167]



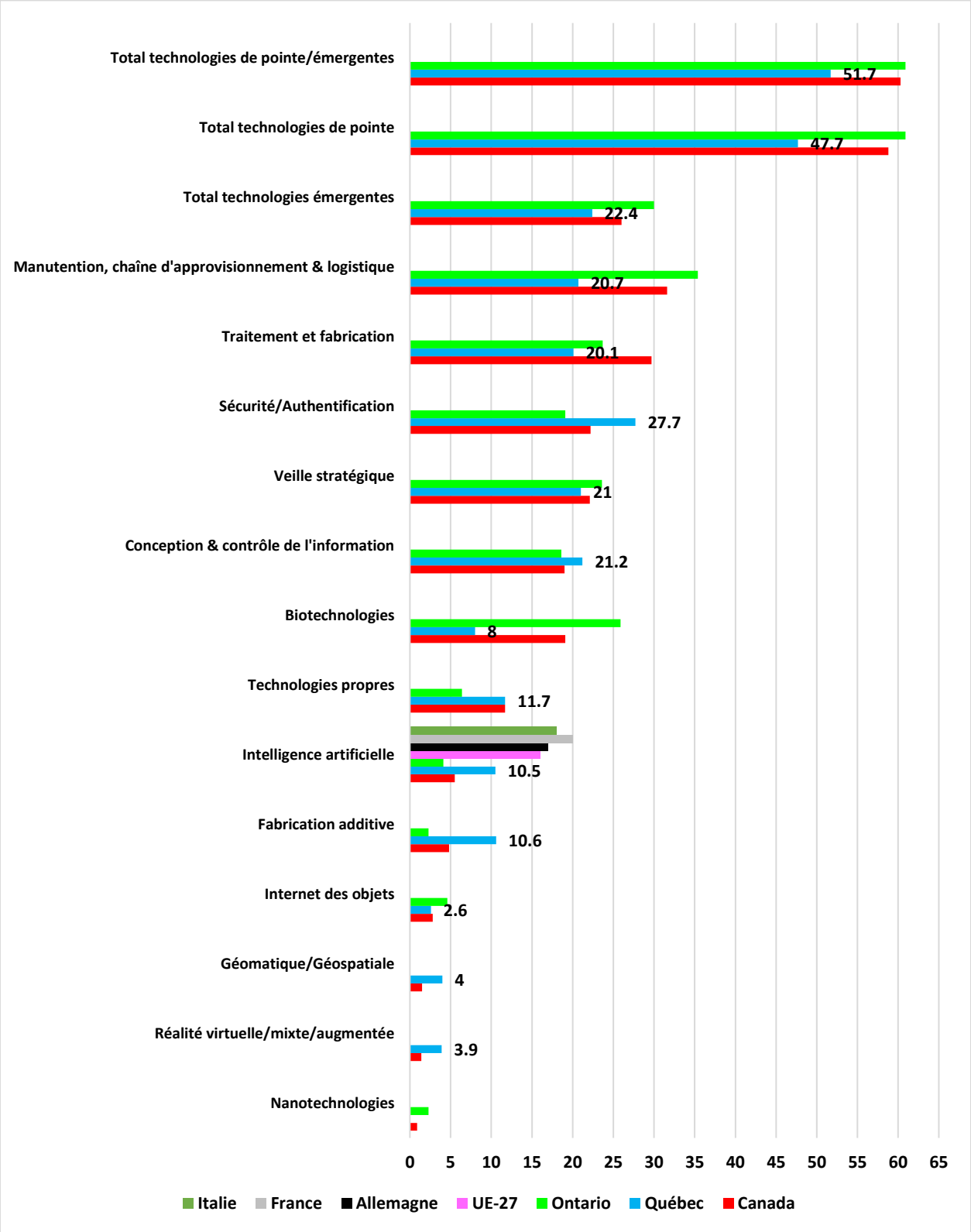
Dans ce créneau plus large des produits chimiques (incluant le pharmaceutique mais excluant la pétrochimie), nous avons estimé à 64 robots/10,000 employés la densité robotique québécoise, ce qui la situerait entre l'Allemagne à 64/10,000 également, puis la France à 71/10,000. Le Canada, à 80/10,000, est en devant de peloton au-dessus du Japon (74) mais derrière les États-Unis (86) et l'Italie (138), alors que la Chine (26) peine encore, malgré une robotisation massive, à rejoindre

les économies avancées à cet égard. S'il est vrai que le Québec tire donc de l'arrière sur le Canada, dans ces créneaux, en matière de densité robotique, sur une foule d'indicateurs il semble que le secteur pharmaceutique et en particulier, le secteur des produits chimiques soient, au Québec, au pair voire en avance sur l'Ontario et le Canada dans son ensemble.

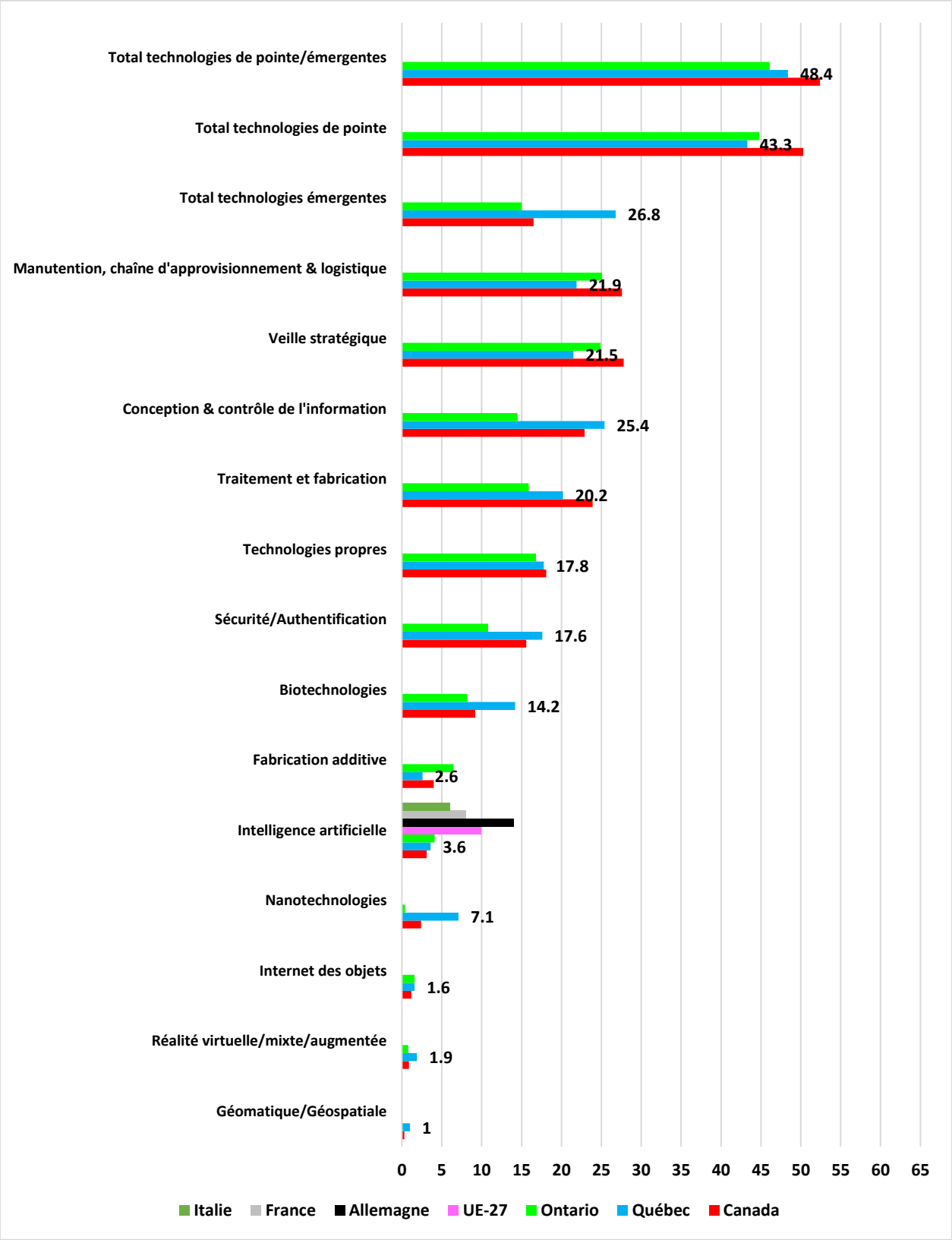
Dans le secteur plus pointu du pharmaceutique, d'abord, on note effectivement que si le Québec accuse un léger retard en matière d'adoption des technologies d'automatisation 3.0., il existe néanmoins quelques exceptions telles que pour les technologies de sécurité/authentification, ou pour les technologies de conception et de contrôle de l'information. *Contrairement à bien d'autres secteurs manufacturiers québécois, l'industrie pharmaceutique est par ailleurs au même niveau que le Canada et même largement devant l'Ontario en ce qui concerne l'intégration des technologies propres. Des avances importantes du pharmaceutique québécois s'observent également pour plusieurs classes de technologies émergentes/4.0. : fabrication additive, géomatique/géospatiale et réalité virtuelle y sont ainsi assez largement plus utilisées qu'ailleurs au Canada, tout comme d'ailleurs l'intelligence artificielle, pour laquelle le Québec se rapproche même des moyennes européennes, beaucoup plus élevées*. Seule l'utilisation des biotechnologies semble au Québec être inférieure, dans le secteur pharmaceutique, qu'ailleurs au pays. En somme, le secteur pharmaceutique québécois reproduit à peu près le portrait général du secteur manufacturier dans son ensemble : léger retard en matière d'adoption des technologies 3.0., mais légère avance en ce qui concerne les technologies émergentes/4.0.

La situation du secteur de la fabrication des produits chimiques plus généralement est encore plus évocatrice, toutefois, de la performance enviable du Québec dans ces industries. On remarque en effet encore dans ce cas un (très) léger retard pour l'adoption des technologies d'automatisation 3.0., toujours avec les mêmes exceptions : le Québec fait effectivement mieux que l'Ontario et que le Canada dans le créneau des technologies de conception et de contrôle de l'information, puis dans celui des technologies de sécurité/authentification. Les écarts avec le reste du pays en ce qui concerne ces technologies 3.0. sont toutefois généralement moins marqués que pour le secteur pharmaceutique. *Sur le plan des technologies émergentes/4.0., en revanche, les écarts sont beaucoup plus importants et encore à l'avantage du secteur québécois des produits chimiques. À 27%, les entreprises de ce secteur au Québec sont très largement plus nombreuses, toutes proportions gardées, que dans le reste du Canada à utiliser ces technologies. Les biotechnologies (à l'inverse du seul secteur pharmaceutique) et les nanotechnologies, en particulier, semblent être beaucoup plus largement utilisées par l'industrie chimique québécoise*. Aux plans de l'intelligence artificielle et des technologies propres enfin, cette dernière fait aussi bien qu'ailleurs au Canada mais, dans le cas de l'intelligence artificielle, toujours moins bien que les industries chimiques européennes.

Graphique 82. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication des produits pharmaceutiques et médicaments utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes (2019)[168]



Graphique 83. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication des produits chimiques utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes (2019)[169]



Étude de cas #9 : AstraZeneca & Benevolent[AI] (Londres, Royaume-Uni)

Groupe pharmaceutique suédo-britannique (AstraZeneca) et entreprise de bio-informatique spécialisée en analyse des données par intelligence artificielle (Benevolent[AI])

Création : AstraZeneca (1999); Benevolent[AI] (2013)
Sièges sociaux : Londres, Royaume-Uni
Revenus bruts (AstraZeneca) : 37,4 milliards $US (2021)
Employés (AstraZeneca) : 76 100 (2020)

Innovation : partenariat stratégique de R&D par intelligence artificielle ayant mené à l'identification de cibles pour le développement de nouveaux médicaments

La maturité technologique de l'industrie manufacturière britannique est loin d'être parmi les plus avancées du monde. En fait, malgré l'importance de son secteur automobile (lui-même beaucoup moins automatisé que les industries automobiles nord-américaines, allemande, française ou japonaise et au niveau de celle de l'Italie), la densité robotique du manufacturier britannique n'atteignait en 2020 que les 101 robots/10,000 employés, sous la moyenne mondiale (126) et loin derrière la France (194), l'Italie (224) ou l'Allemagne (371)[170].

Il y a toutefois quelques exceptions à ce retard technologique important du secteur manufacturier britannique. Par exemple, le secteur est parmi les plus avancés du monde en ce qui concerne le recours à l'analyse des données massives, près de 20% de ses entreprises rapportant y recourir (2021)[171]. Cela positionne le Royaume-Uni parmi les leaders mondiaux dans ce domaine, aux côtés des pays scandinaves (17% des entreprises manufacturières suédoises, 20% des entreprises finlandaises et 22% des entreprises danoises utilisent également l'analyse des données massives). Cela est sans doute en bonne partie dû à l'importance du secteur britannique des biotechnologies et du pharmaceutique, parmi les principaux utilisateurs de ces technologies.

Dans ce secteur de l'industrie chimique/pharmaceutique, la densité robotique du Royaume-Uni accuse un retard moins important (56 robots/10,000 employés contre 64 en Allemagne ou 71 en France)[172]. L'industrie britannique des biotechnologies est également parmi les plus performantes d'Europe (et du Royaume-Uni lui-même) en matière d'applications pour brevets ou d'investissements en capital de risque, aux côtés d'ailleurs des secteurs technologiques des données massives et de l'intelligence artificielle. Une « Stratégie nationale des biotechnologies industrielles » est d'ailleurs en place depuis 2018 et jusqu'en 2030, jouissant d'un financement public de près de 5 milliards de Livres sterling[173].

L'industrie pharmaceutique britannique est par ailleurs déjà parmi les plus importantes du monde, avec ses deux géants AstraZeneca et GlaxoSmithKline (GSK); en 2020, les pharmaceutiques britanniques accaparaient environ 2,5% des parts de marché mondiales, au sixième rang derrière les États-Unis (46%),

la Chine (8%), le Japon (7%), l'Allemagne (5%), la France (3%) et l'Italie (3%)[174]. Au tournant des années 2020, la production pharmaceutique britannique atteignait les 22 milliards de Livres sterling[175]. L'industrie pharmaceutique britannique investit par ailleurs massivement en R&D, soit en moyenne plus du tiers de ses ventes brutes depuis le début des années 2000[176].

Il n'est donc pas étonnant qu'émergent, en particulier du secteur pharmaceutique, certaines des innovations parmi les plus importantes développées par le manufacturier britannique. La collaboration fructueuse entre la pharmaceutique AstraZeneca (bien connue pour son vaccin contre la COVID-19) et la jeune entreprise d'analyse des données bio-informatiques par intelligence artificielle Benevolent[AI] en est l'un des meilleurs exemples. Ce partenariat, noué au printemps 2019, a permis de combiner les données génomiques, chimiques et cliniques d'AstraZeneca et le système d'analyse des données massives de Benevolent[AI], qui permet de mieux comprendre les relations complexes entre gènes, protéines, composés chimiques et maladies grâce à des algorithmes avancés[177].

Cette collaboration a été développée avec l'objectif de découvrir certaines des causes biologiques sous-jacentes de la maladie rénale chronique et de la fibrose pulmonaire idiopathique, largement répandues mais encore mal comprises par la communauté médicale et pharmaceutique. En étudiant la biologie complexe de ces maladies à l'aide de l'analyse des données par intelligence artificielle, AstraZeneca espérait pouvoir identifier de nouvelles cibles moléculaires, plus précises, pouvant servir au développement de médicaments mieux adaptés et plus efficaces.

Benevolent[AI] touchera d'ailleurs des redevances sur tout médicament développé grâce à cette collaboration, dont les premiers fruits ont été annoncés dès janvier 2021 avec la découverte, grâce à l'analyse des protéines générées par des cellules saines et malades, d'une cible pour le traitement de la maladie rénale chronique qui permettra l'élaboration de nouvelles molécules par AstraZeneca[178].

En décembre 2021, une deuxième découverte a été officiellement annoncée, cette fois pour le traitement potentiel de la fibrose pulmonaire idiopathique. De nouvelles cibles ont ainsi identifiées qui permettront le développement de molécules visant à ralentir la progression (normalement assez fulgurante) de la maladie et à permettre la régénération des tissus pulmonaires affectés[179]. Après cette seconde découverte, les deux entreprises ont renouvelé leur partenariat au début 2022 pour trois années supplémentaires, visant cette fois le lupus érythémateux systémique et l'insuffisance cardiaque[180].

En mai 2022, enfin, une deuxième cible moléculaire a été identifiée pour le traitement de la fibrose pulmonaire idiopathique[181], portant à trois en à peine quatre ans les découvertes commercialisables issues de ce partenariat.

Chapitre 5. Les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques

Faits saillants

- *Sur le plan de la productivité du travail dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques, le Québec se maintient en devant de peloton à l'échelle internationale. À près de 111 000 $US de PIB par emploi dans ces secteurs en date de 2019, le Québec n'était surpassé que par les États-Unis (117 000 $US) et, très légèrement, par le Canada dans son ensemble.*

- *De manière générale, il semble que le Québec ait toujours maintenu dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques, au cours des années 2010, des niveaux de dépenses en R&D supérieurs à ceux du Canada ou de l'Ontario, mais également égaux ou supérieurs à ceux de l'Italie, des États-Unis, de l'Allemagne et du Japon. Cela illustre bien, également, l'importance et la performance de ces secteurs, au Québec, en matière d'innovation.*

- *En date de 2019, le Québec se situait ainsi à l'avant-dernier rang parmi les économies recensées pour la productivité du capital de ses secteurs de la métallurgie et des produits métalliques : à environ 5 $US de PIB pour chaque dollar investi en capital fixe, ces secteurs ne surpassaient que leurs concurrents japonais (4,6 $US).*

- *Malgré un poids relatif généralement important des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques (incluant la machinerie et les produits électroniques/électriques) sur l'ensemble des bassins d'emplois manufacturiers des pays recensés – d'un peu moins de 30% à un peu plus de 40% selon les pays – le stock robotique de ces secteurs ne représente que de 9% (Canada) à 17% (France) environ du stock robotique manufacturier global de chacun de ces États. Au Québec, ces industries représentaient en date de 2019 environ 45% du stock robotique global du secteur manufacturier, ce qui s'explique notamment par le fait qu'en comparaison des autres pays recensés, le poids relatif du stock robotique de son secteur automobile est largement moins important, accentuant d'autant le poids relatif des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques.*

- *Compte tenu de l'importance de ces industries au Québec, la densité robotique d'ensemble des créneaux de la métallurgie et des produits métalliques y est, à environ 127 robots/10,000 employés en date de 2019, assez largement supérieure à celle du Canada (71/10,000) ou des États-Unis (80) et plutôt similaire à celle de la France (118) ou de l'Allemagne (130). Le Québec est néanmoins encore en retard sur les leaders mondiaux*

que sont en cette matière les industries métallurgiques et des produits métalliques du Japon (170 robots /10,000 employés) et d'Italie (194).

- *Dans le secteur de la première transformation des métaux, les écarts à l'avantage du Québec (face à l'Ontario et au Canada) pour l'intégration des technologies émergentes/4.0. comme pour l'utilisation des technologies de pointe/3.0. sont importants. Dans ce second cas, cette avance est surtout marquée pour les technologies de traitement et de fabrication (dont la robotique) puis pour les technologies de conception et de contrôle de l'information, mais elle s'applique également aux systèmes de manutention et de gestion logistique. La maturité des entreprises métallurgiques québécoises semble également supérieure dans les domaines de l'Internet des objets et de la fabrication additive (vs. Ontario), mais aussi des technologies propres.*

- *En ce qui concerne le secteur de la fabrication des produits métalliques, la situation est plus mitigée. Pour l'adoption des technologies de pointe/3.0., le Québec semble au pair avec l'Ontario et le Canada, mais en avance pour les technologies de conception et de contrôle de l'information, de veille stratégique (vs. Ontario) puis surtout, de traitement et de fabrication (dont la robotique). Dans le cas des technologies émergentes/4.0., les fabricants de produits métalliques québécois sont également plus nombreux, relativement parlant, que leurs concurrents ontariens et/ou canadiens à avoir adopté l'Internet des objets (vs. Ontario), les nanotechnologies ou l'intelligence artificielle (bien que dans ce dernier cas le retard face aux États-Unis soit également significatif).*

- *Malgré une légère croissance entre 2010 et 2019, la productivité du travail dans le secteur québécois de la machinerie, à un peu moins de 86 000 $US par emploi, se situait en 2019 sous les moyennes ontarienne (94 000 $US) et canadienne (103 000 $US) et en dernière position parmi les économies recensées.*

- *En date de 2019 mais plus généralement au cours des années 2010, le Québec se retrouvait dans la fourchette supérieure des pays recensés investissant le plus en R&D dans le secteur de la machinerie. Malgré des fluctuations annuelles importantes, que l'on retrouve d'ailleurs à peu près partout, de manière générale le secteur québécois de la machinerie investit beaucoup plus en R&D (près de 80 000 $US par million $ de PIB en 2019) que ses concurrents ontarien (48 000 $US) ou canadiens (53 000 $US).*

- *Comme dans beaucoup d'autres secteurs manufacturiers, le Québec se retrouve dans le secteur de la machinerie en devant de peloton, à l'échelle des pays recensés, en ce qui concerne la productivité du capital. À près de 10 $US de PIB pour chaque dollar d'investissement en capital fixe en date de 2019, la productivité du capital québécois dans*

le secteur de la machinerie surpassait celle de l'Allemagne (8 $US), du Royaume-Uni (7,5 $US), de l'Italie (7 $US), des États-Unis (6,5 $US), de la France (5 $US) et du Japon (4 $US).

- *Loin devant le Canada (29%), les industries de la machinerie industrielle japonaise (64%), italienne (70%), allemande (92%) et surtout britannique (326%), américaine (327%), française (448%) puis évidemment, chinoise (7412%) ont connu de fortes, voire de gigantesques hausses de leurs stocks robotiques opérationnels entre 2011 et 2020. Au Québec, nous avons estimé que l'industrie de la machinerie comptait, en date de 2019, pour près de 12% du stock robotique manufacturier global, soit tout juste au-dessus des proportions française (9,5%) et italienne (9,8%) mais loin devant la moyenne canadienne (1,7%).*

- *À 118 robots/10,000 employés, la densité robotique de l'industrie québécoise de la machinerie était, en date de 2019, à peu près au niveau de celle de l'Italie mais loin derrière celle de la France (209) ou du Japon (183). Elle était toutefois largement supérieure à la densité robotique des industries britannique (32), américaine (42) et canadienne (52), puis légèrement plus importante que celle de la Chine (93) ou de l'Allemagne (97).*

- *En ce qui concerne l'utilisation des technologies émergentes, l'avance de l'industrie québécoise de la machinerie sur l'Ontario et/ou le Canada est forte, particulièrement dans les créneaux de la fabrication additive et de l'Internet des objets (pour lequel le Québec fait presque aussi bien que les pays européens). Les fabricants québécois sont également plus nombreux, proportionnellement, à utiliser les technologies de cybersécurité ou de conception et de contrôle de l'information, puis semblent légèrement en avance aussi quant à l'usage des chaînes de blocs, de la géomatique/géospatiale et de la réalité virtuelle. En revanche, des retards s'observent pour les technologies de traitement et de fabrication, puis de manutention et de gestion logistique.*

- *En termes de productivité du travail dans les secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique, le Québec demeurait en 2019, à plus de 91 000 $US par emploi, au niveau des moyennes canadienne (93 500 $US) et ontarienne (89 500 $US). Toutefois, cette productivité a stagné durant les années 2010 et plaçait le Québec, en 2019, à l'avant dernier rang (devant l'Ontario) parmi les économies recensées.*

- *De manière générale depuis le début des années 2010, malgré des fluctuations annuelles assez importantes, le Québec se situe en milieu de peloton à l'échelle des pays recensés pour ce qui est du niveau des dépenses en R&D effectuées par ses secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique. Ces dépenses ont toutefois connu un recul notable au cours*

des dernières années de la décennie 2010, pour s'établir à environ 103 000 $US par million de $ de PIB en 2019.

- *Si la productivité du travail québécoise est, dans les secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique, en queue de peloton parmi les économies recensées, sa productivité du capital dans ces secteurs est à l'inverse l'une des plus élevées. Malgré de fortes fluctuations annuelles et une stagnation globale depuis 2010, la productivité du capital québécoise atteignait dans ces secteurs en 2019 près de 7 $US de PIB par dollar d'investissement en capital fixe, n'étant surpassée que par le Royaume-Uni à plus de 9$.*

- *Dans le cas du Canada, le poids robotique des secteurs de l'équipement électronique et du matériel électrique est passé, entre 2011 et 2020, de près de 7% à 3,5% du stock manufacturier total, pour rejoindre les niveaux italien (3,6%) et britannique (3,2%). Selon nos estimations, cette proportion atteignait au Québec, en date de 2019, près de 9%, bien au-dessus des 3,5% canadiens et devant les pays européens, mais très en-deçà des moyennes américaine (18%), japonaise (34%) ou chinoise (37%).*

- *Sur le plan de la densité robotique, les industries québécoises de l'équipement électronique et électrique étaient, en date de 2019, à peu près au même niveau que leurs concurrentes canadiennes (113 robots/10,000 employés contre 117, respectivement) mais également, loin devant le Royaume-Uni (36/10,000) et l'Italie (77) puis au pair ou presque avec la France (115) ou l'Allemagne (125). Ces industries sont donc, au Québec, pratiquement autant sinon plus robotisées qu'elles ne le sont partout ailleurs sauf chez les grandes puissances de l'électronique que sont les États-Unis (332), la Chine (460) ou le Japon (983).*

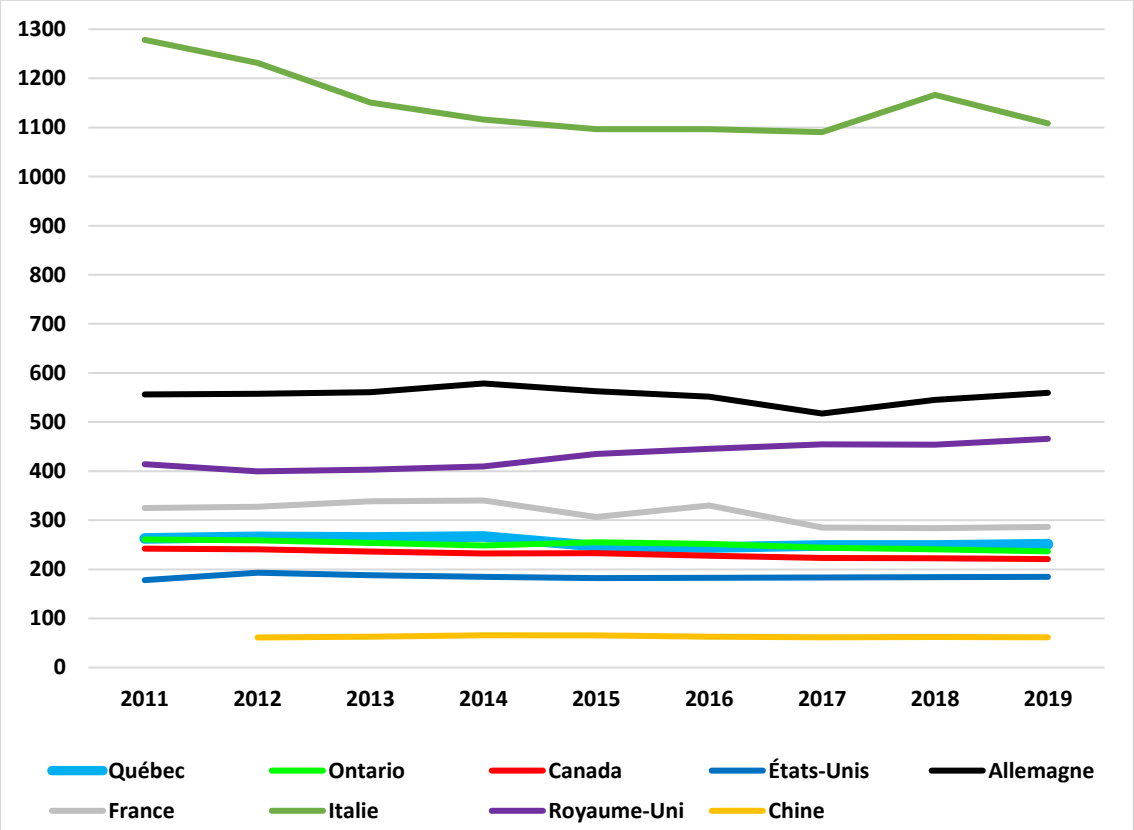
- *Le constat positif que nous permet de poser la densité robotique de ces secteurs québécois de l'électronique et du matériel électrique est d'ailleurs confirmé, bien que davantage dans le second cas que dans le premier, par les données sur leur adoption des technologies 3.0. et 4.0. Dans le secteur de l'électronique, les entreprises québécoises sont proportionnellement aussi nombreuses que leurs homologues ontariennes ou canadiennes à avoir adopté ces technologies. Dans le créneau de l'équipement électrique, en revanche, la maturité technologique de l'industrie québécoise est clairement supérieure. Le degré de pénétration des technologies de traitement et de fabrication, de manutention et de gestion logistique, de réalité virtuelle, de géomatique/géospatiale, des chaînes de blocs, des nano/biotechnologies et des technologies propres y est en effet particulièrement élevée, y compris en comparaison de l'Ontario et/ou du Canada.*

5.1. Caractéristiques économiques comparées

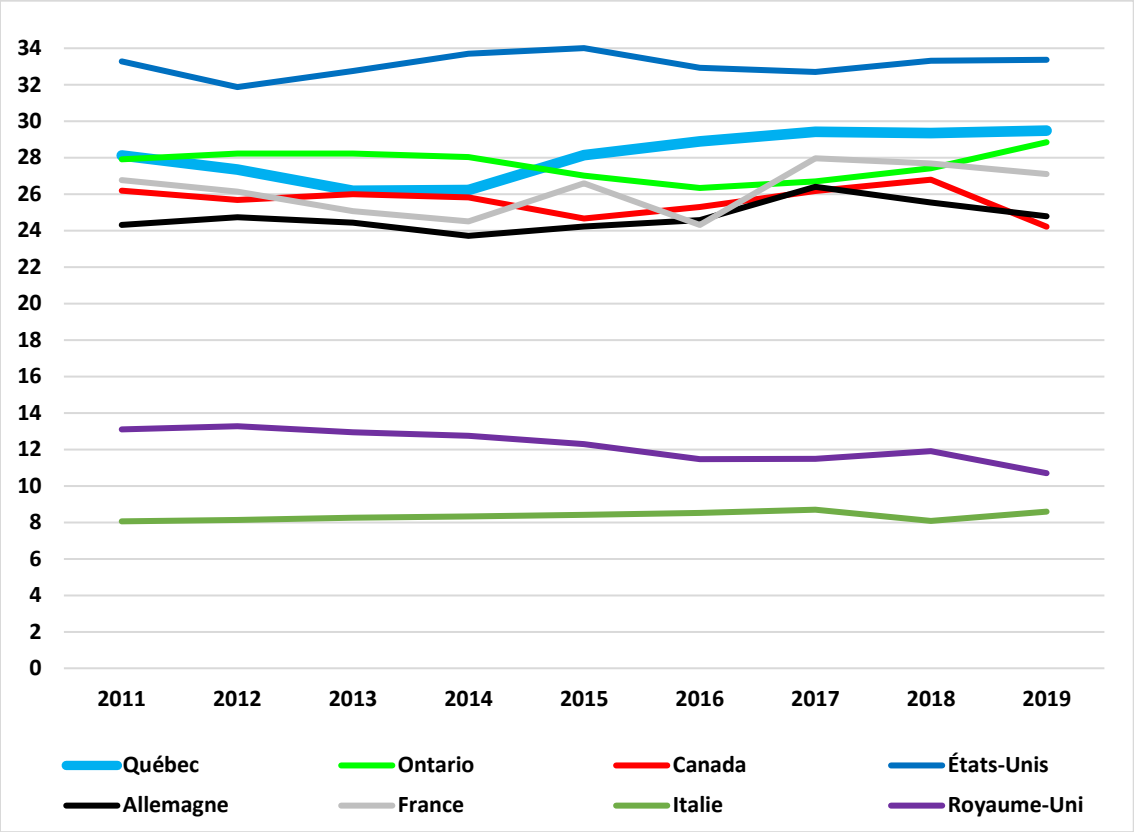
➢ À l'échelle des pays recensés, l'Italie est de très loin celui dont la densité d'entreprises est la plus élevée dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques, Malgré un léger déclin depuis le début des années 2010, l'Italie demeurait à cet égard en date de 2019, à plus de 1100 entreprises par million d'habitants, très loin devant l'Allemagne (559 entreprises), le Royaume-Uni (466) et la France (286).

➢ Avec une densité d'entreprise très stable d'environ 250 entreprises par million d'habitants, le Québec est dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques en milieu de peloton à l'échelle internationale, tout juste derrière la France mais devant l'Ontario (237 entreprises), le Canada (221), les États-Unis (185) et la Chine (61).

Graphique 84. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteurs de la métallurgie et des produits métalliques[182]



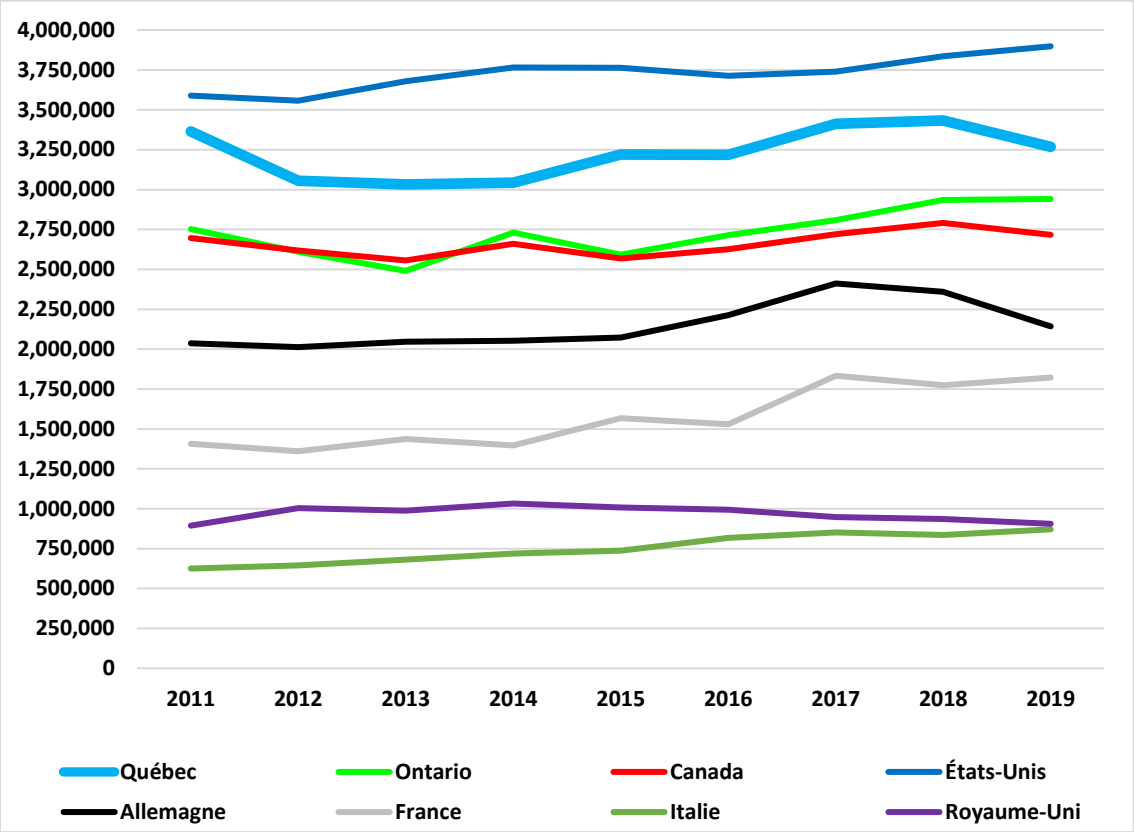
Graphique 85. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteurs de la métallurgie et des produits métalliques[183]



➢ Si les États-Unis sont, parmi les pays recensés, l'un de ceux dont la densité d'entreprises dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques est la plus faible, les entreprises américaines de ces secteurs sont en revanche et sans surprise parmi les plus grandes du monde. Avec une moyenne stable d'environ 33 employés par entreprise, les États-Unis devancent dans ces secteurs la France (27), l'Allemagne (25) et de très loin, le Royaume-Uni (11) et l'Italie (9).

➢ En date de 2019 et à la suite d'une légère croissance depuis 2014, la taille moyenne des entreprises québécoises dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques atteignait les 29 employés, tout juste devant l'Ontario (28) et le Canada (25). Bien que les écarts pour cet indicateur soient relativement faible, il est intéressant de noter que seuls les États-Unis avaient, en date de 2019 et parmi les pays recensés, une moyenne supérieure à celle du Québec en ce qui concerne la taille des entreprises du secteur de la métallurgie et des produits métalliques.

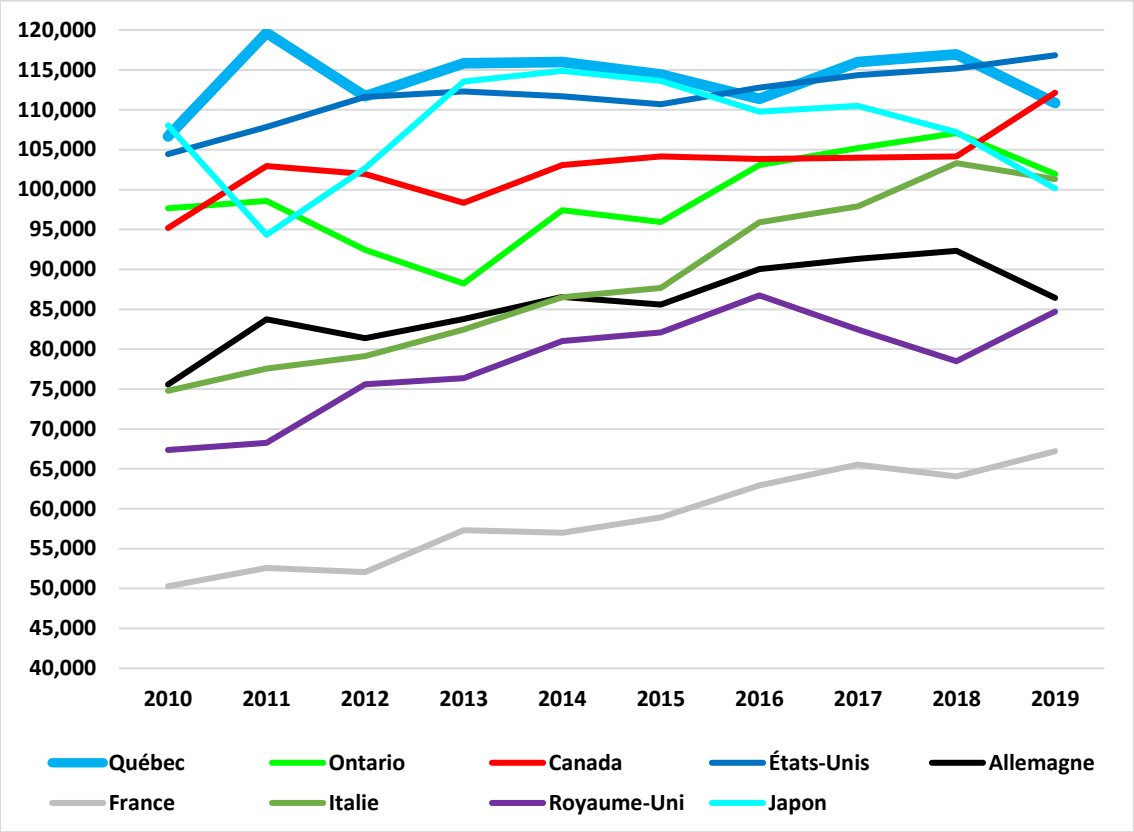
Graphique 86. PIB par entreprise, secteurs de la métallurgie et des produits métalliques ($ US constants de 2015)[184]



➢ Malgré une stagnation relative depuis le début des années 2010, le Québec demeurait en 2019, parmi les juridictions recensées, en deuxième position pour le PIB moyen par entreprise des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques. À plus de 3,25 millions $US de production moyenne par entreprise dans ces secteurs, le Québec n'était en effet devancé que par les États-Unis (3,9 millions $US), ce qui illustre à la fois l'importance et la performance de ces secteurs au Québec.

➢ En termes de PIB moyen par entreprise, le Québec (3,25 millions $US) devance donc de plus ou moins loin, dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques : l'Ontario et le Canada, qui à 2,9 et 2,7 millions $US en date de 2019 sont également en haut de fourchette, mais aussi l'Allemagne (2,1 millions $US), la France (1,8 millions $US) et de très loin, le Royaume-Uni (900 000 $US) et l'Italie (871 000 $US).

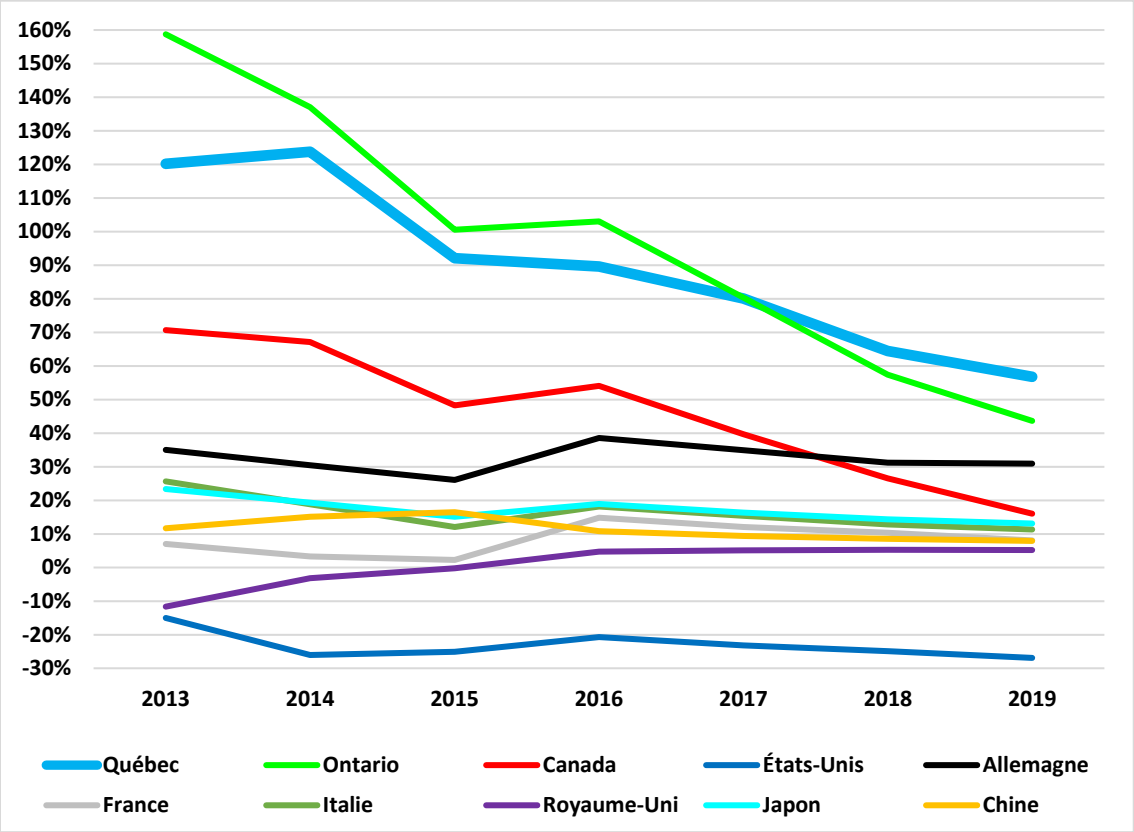
Graphique 87. PIB par emploi, secteurs de la métallurgie et des produits métalliques ($ US constants de 2015)[185]



➢ Sur le plan de la productivité du travail dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques, le Québec se maintient également en devant de peloton à l'échelle internationale. À près de 111 000 $US de PIB par emploi dans ces secteurs en date de 2019, le Québec n'était surpassé que par les États-Unis (117 000 $US) et, très légèrement, par le Canada dans son ensemble qui a connu au cours des années 2010 une assez forte croissance de sa productivité du travail dans ces secteurs (95 000 $US en 2011 à 112 000 $US en 2019).

➢ La production par travailleur dans les secteurs québécois de la métallurgie et des produits métalliques a relativement peu progressé au cours des années 2010, mais elle se maintient à des niveaux élevés, supérieurs à ceux de l'Ontario (102 000 $US par travailleur en 2019), de l'Italie (101 000 $US), de l'Allemagne (86 400 $US), du Royaume-Uni (85 000 $US) et de la France (67 000 $US), qui ont pour leur part connu une croissance plus importante de cette productivité au cours de la décennie 2010.

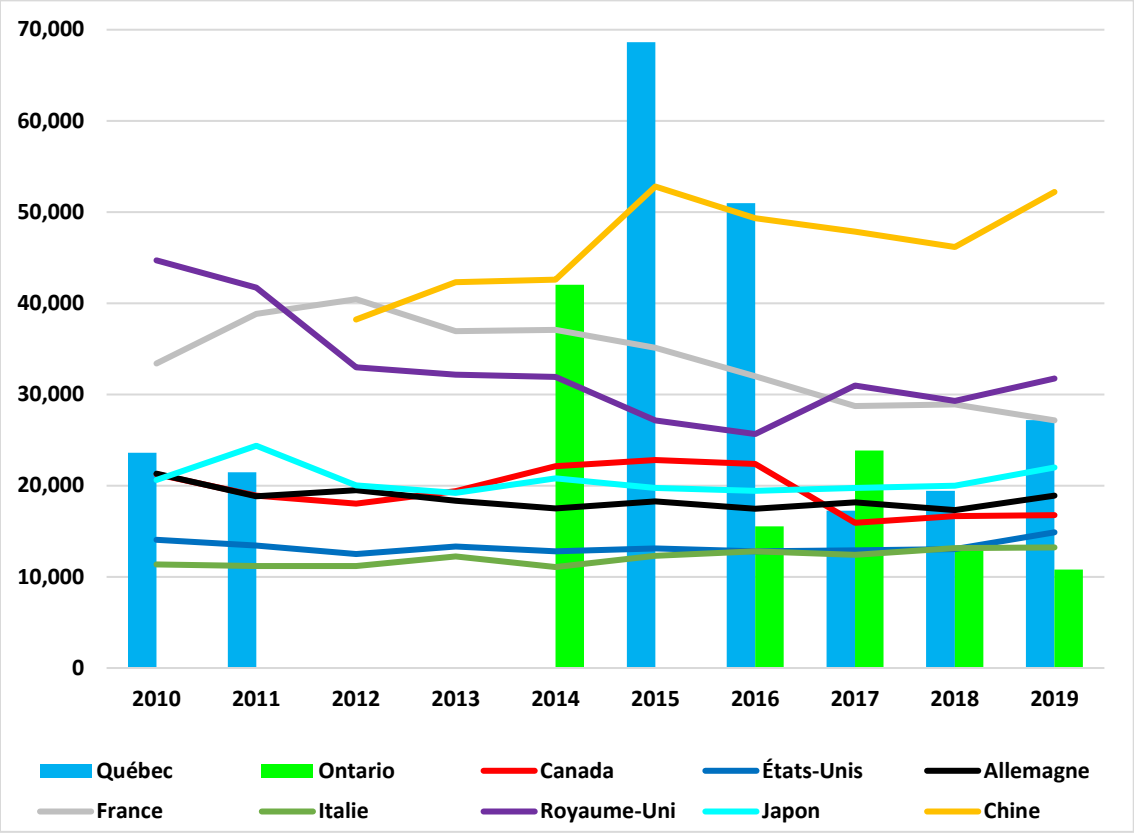
Graphique 88. Valeur de la balance commerciale du secteur de la métallurgie et des produits métalliques en % du PIB de la métallurgie et des produits métalliques[186]



➢ Au cours des années 2010, le Québec a connu, à l'instar de la plupart des économies recensées, un fort déclin de ses excédents commerciaux dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques. Les surplus commerciaux du Québec sont ainsi passés de l'équivalent de 120% du PIB de ces secteurs en 2013 à moins de 60% en 2019. Le Canada et l'Ontario ont d'ailleurs connu le même sort dans ces secteurs, les excédents commerciaux ontariens ayant subi la plus forte baisse. Cela s'explique toutefois en partie par la recul du dollar canadien au cours de cette période, ayant augmenté le coût relatif des importations et réduit la valeur nominale des exportations.

➢ Malgré ce déclin relatif continuel au cours des années 2010, les surplus commerciaux des secteurs québécois de la métallurgie et des produits métalliques demeurent les plus importants parmi les juridictions composant notre échantillon : à 57% du PIB de ces secteurs en date de 2019, les surplus québécoises surpassaient donc, proportionnellement, ceux de l'Ontario (44%), de l'Allemagne (31%), du Canada (16%), du Japon (13%), de l'Italie (11%), de la France, de la Chine et du Royaume-Uni (tous sous les 10%). Dans ces secteurs, seuls les États-Unis sont commercialement déficitaires, à hauteur de près de 30% du PIB.

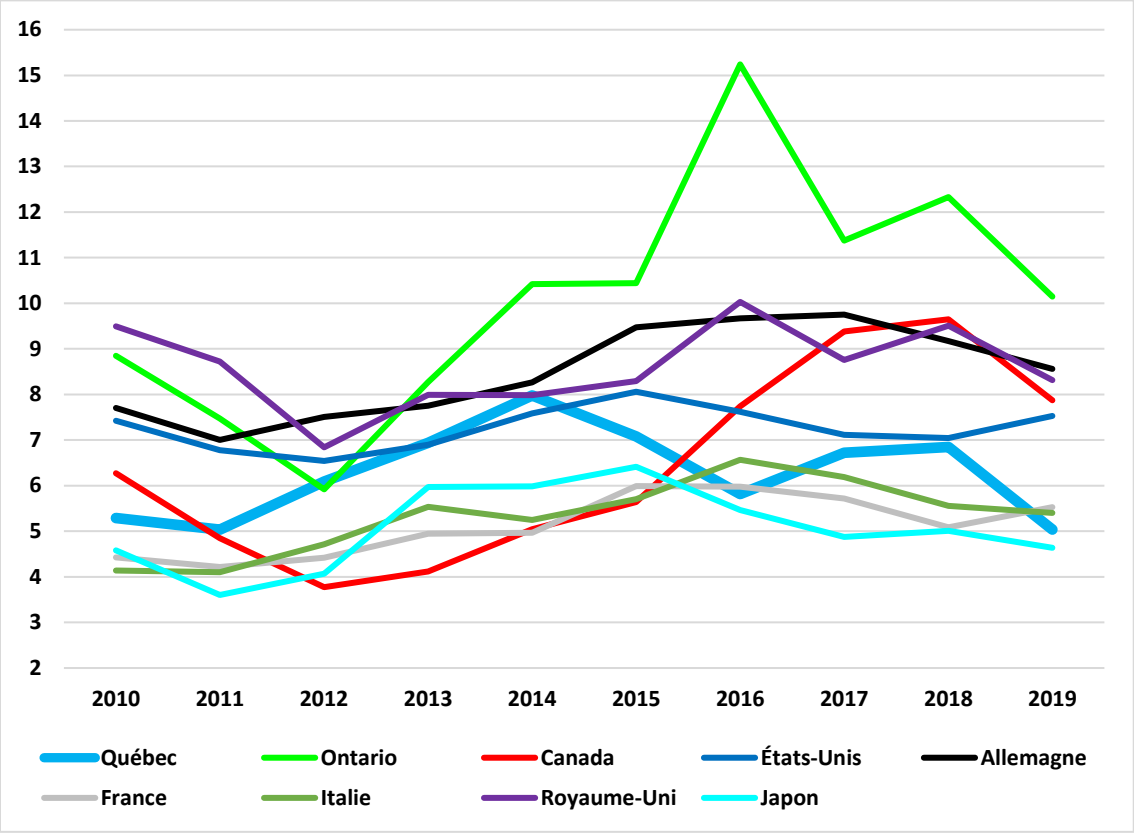
Graphique 89. Dépenses en R&D des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques pour chaque million $ de PIB des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques ($ US constants de 2015)[187]



➢ À l'exception de quelques années exceptionnelles (2015-2016), les dépenses en R&D des secteurs québécois de la métallurgie et des produits métalliques sont, en proportion du PIB de ces mêmes secteurs, en milieu de peloton à l'échelle internationale. En 2019, ces dépenses s'établissaient à un peu plus de 27 000 $US par millions $ de PIB, soit à peu près au niveau de celles des industries françaises. Seules les industries métallurgique et des produits métalliques britanniques et chinoises faisaient alors mieux que le Québec, à respectivement 32 000 $US et 52 000 $US.

➢ De manière générale, il semble que le Québec ait toujours maintenu dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques, au cours des années 2010, des niveaux de dépenses en R&D supérieurs à ceux du Canada ou de l'Ontario, mais également égaux ou supérieurs à ceux de l'Italie, des États-Unis, de l'Allemagne et du Japon. Cela illustre bien, également, l'importance et la performance de ces secteurs, au Québec, en matière d'innovation.

Graphique 90. PIB des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques pour chaque dollar de formation brute de capital fixe des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques ($ US constants de 2015)[188]



➢ Au cours des années 2010, et plus précisément entre 2012 et 2015, le Québec s'est hissé en milieu de peloton parmi les économies recensées pour ce qui est de la productivité du capital de ses secteurs de la métallurgie et des produits métalliques. Dans la seconde moitié des années 2010 toutefois, un recul continuel de cette productivité a fait chuter le Québec au bas de la fourchette de notre échantillon, aux côtés toutefois de l'Italie, de la France et du Japon, qui ne font guère mieux.

➢ En date de 2019, le Québec se situait ainsi à l'avant-dernier rang parmi les économies recensées pour la productivité du capital de ses secteurs de la métallurgie et des produits métalliques : à environ 5 $US de PIB pour chaque dollar investi en capital fixe, ces secteurs ne surpassaient que leurs concurrents japonais (4,6 $US) mais demeuraient moins productifs que leurs concurrents italien (5,4 $US), français (5,5 $US) et surtout, américains (7,5 $US), canadiens (7,9 $US), britanniques (8,3 $US), allemands (8,6 $US) et ontarien (10 $US). La performance des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques ontariens est ici remarquable, mais il faut noter évidemment que cette province est la principale productrice canadienne d'or et d'argent, qui ont par définition une valeur plus élevée.

5.2. Maturité technologique comparée

Tableau 18. Stock robotique du secteur de la métallurgie et des produits métalliques (ISIC 24-28, 2020)[189]

Québec	Canada	États-Unis	Royaume-Uni	France	Allemagne	Italie	Japon	Chine
1619	2671	26001	1743	6351	29998	20046	48729	109790

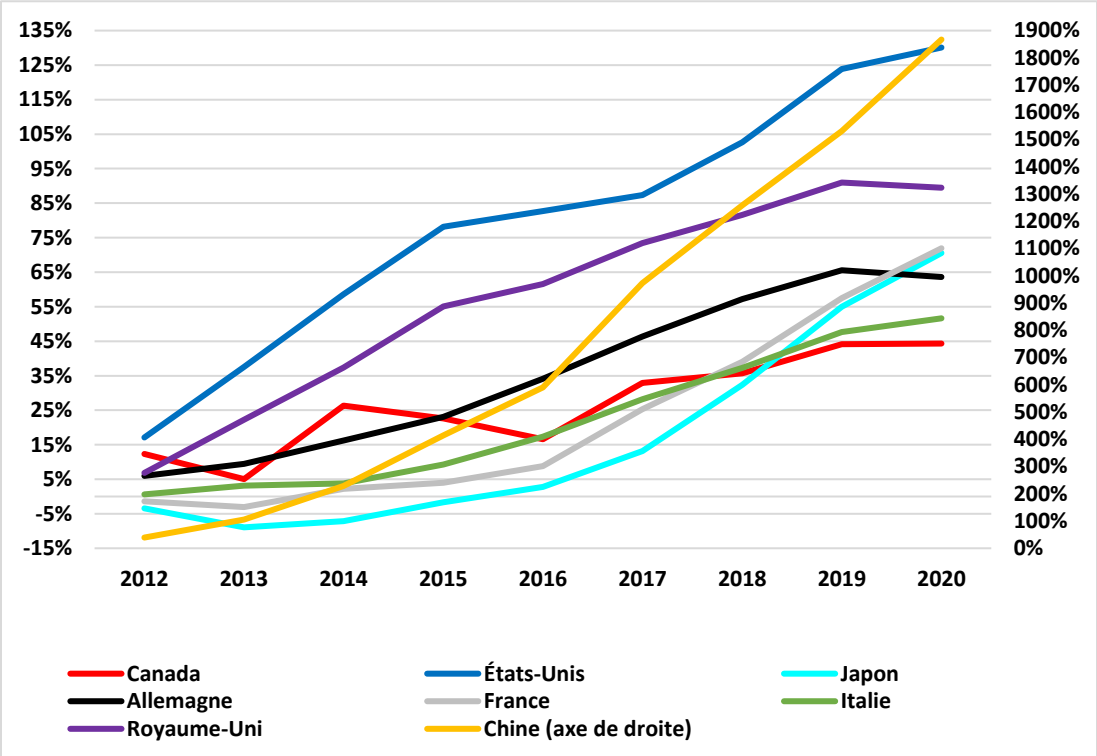
Les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques[xiv] ont également connu à l'échelle internationale, au cours des dernières années et en particulier depuis le milieu des années 2010, une assez forte poussée de robotisation. Ces industries ont évidemment un caractère stratégique particulièrement important, puisqu'elles fournissent en amont à peu près l'ensemble des autres secteurs manufacturiers en matières premières et en matériaux de base[190]. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'elles ont fait l'objet, dans la foulé des efforts de réindustrialisation et de relocalisation entamés par les économies occidentales depuis la crise de 2008, de politiques d'approvisionnement préférentiel dans le cadre de l'octroi des contrats publics, de politiques tarifaires visant à en protéger la compétitivité face aux importations (notamment chinoises), puis de politiques d'appui financier à la modernisation et à la décarbonation. Dans ces industries, les caractéristiques de la demande mondiale ont également évolué de manière importante et seront amenées à se transformer encore rapidement à court et moyens termes, à mesure que se développeront les marchés en forte croissance du transport électrique, de l'électronique, des infrastructures publiques, puis de la machinerie et de l'instrumentation industrielles spécialisées, qui nécessitent évidemment un apport important en métaux (y compris rares) et en produits métalliques complexes. La robotique (y compris collaborative) pourra jouer un rôle clef dans l'adaptation et la modernisation de ces industries face aux mutations de la demande, permettant un accroissement de la productivité et surtout, de nouvelles méthodes ultraprécises de manipulation et de transformation de la matière[191].

Les données recensant la croissance cumulative du stock robotique opérationnel dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques au cours des années 2010 montrent d'ailleurs bien l'ampleur des efforts de modernisation en cours. La Chine trône encore au sommet de ce palmarès, avec une croissance monstrueuse de près de 1900% entre 2011 et 2020, mais plusieurs autres pays ont également connu une croissance très forte de leur stock robotique dans ces secteurs dont les États-Unis (130%), le Royaume-Uni (90%), la France (72%), le Japon (71%) ou l'Allemagne (64%). À 52% et 44% respectivement, l'Italie et le Canada ferment la marche, mais avec des taux de croissance néanmoins assez importants. Comme nous le montrerons aux sections suivantes, la performance supérieure de la Chine, des États-Unis, de la France et dans une moindre mesure, du

[xiv] * Il est à noter qu'aux fins de la compilation des données sur l'utilisation de la robotique industrielle, les catégories de l'*International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC – Rev. 4)* utilisées par l'IFR et reprises ici comprennent la métallurgie/1e transformation des métaux (ISIC 24), les produits métalliques (ISIC 25), les produits électroniques (ISIC 26), les produits électriques (ISIC 27) et la machinerie industrielle (ISIC 28).

Royaume-Uni à cet égard s'explique toutefois notamment par des taux de croissance particulièrement élevés dans les créneaux de la machinerie industrielle et du matériel électronique et électrique, alors que le Canada n'y a pour sa part pas connu de progression spécialement vigoureuse. Il faut dire également que, notamment en ce qui concerne les États-Unis, la Chine et le Royaume-Uni, un rattrapage important en matière de robotisation des secteurs métallurgique et des produits métallique s'imposait : comme nous le montrons également plus loin, le Canada n'a ainsi rien à leur envier sur le plan de la densité robotique dans ces secteurs.

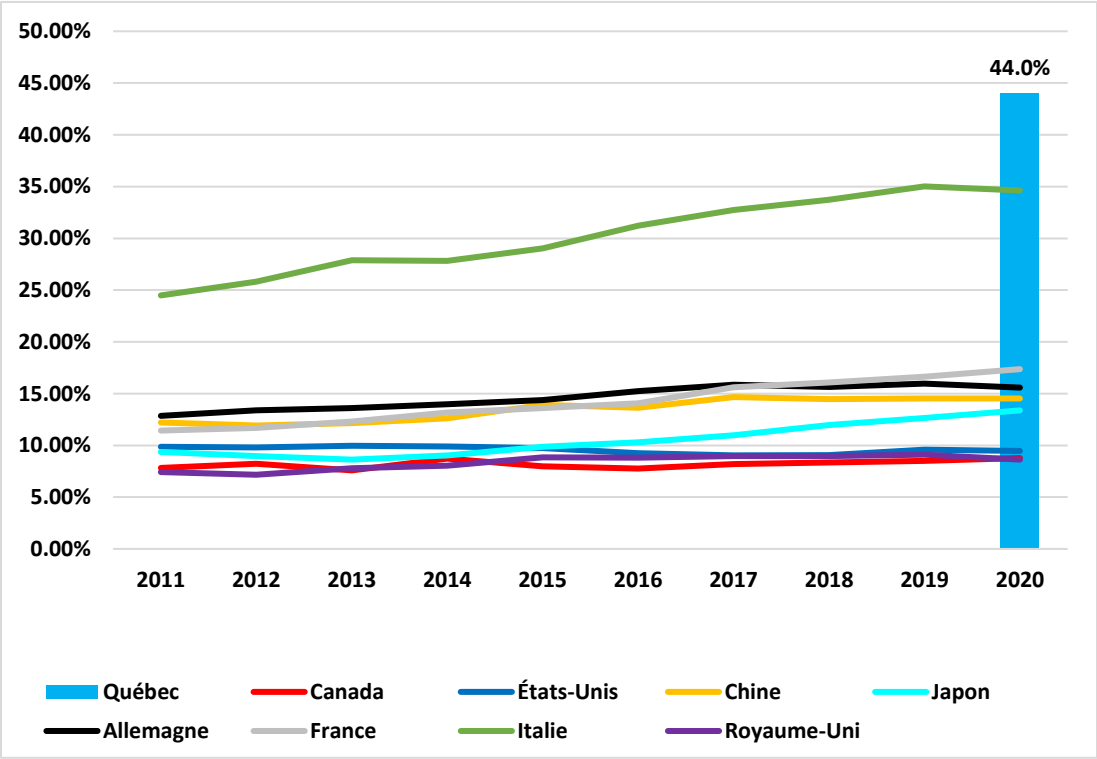
Graphique 91. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur de la métallurgie et des produits métalliques (ISIC 24-28) (année de référence = 2011)[192]



Cela étant, il est également intéressant de constater que, malgré un poids relatif généralement important des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques (ISIC 24-28) sur l'ensemble des bassins d'emplois manufacturiers des pays recensés – d'un peu moins de 30% (France) à un peu plus de 40% (Allemagne) selon les pays – le stock robotique de ces secteurs ne représente, à l'exception de l'Italie, que de 9% (Canada, Royaume-Uni) à 17% (France) environ du stock robotique manufacturier global de chacun de ces États. Cette proportion n'est d'ailleurs qu'en très faible croissance depuis le début des années 2010, ce qui indique que les progrès réalisés par ces secteurs en matière de robotisation n'ont été en fait que marginalement plus importants, en moyenne, que dans l'industrie manufacturière en général. *Que l'Italie soit sur cet indicateur l'exception qui confirme la règle s'explique évidemment en bonne partie par le fait qu'en Italie, en comparaison des autres pays recensés, le poids relatif du stock robotique et la densité robotique*

du secteur automobile sont largement moins importants, accentuant ainsi d'autant le poids relatif des secteurs de la métallurgie et des produits métalliques. Le même phénomène s'applique d'ailleurs également au Québec, où ces industries occupent une place très importante et représentaient en date de 2020, selon nos estimations, environ 44% du stock robotique global du secteur manufacturier.

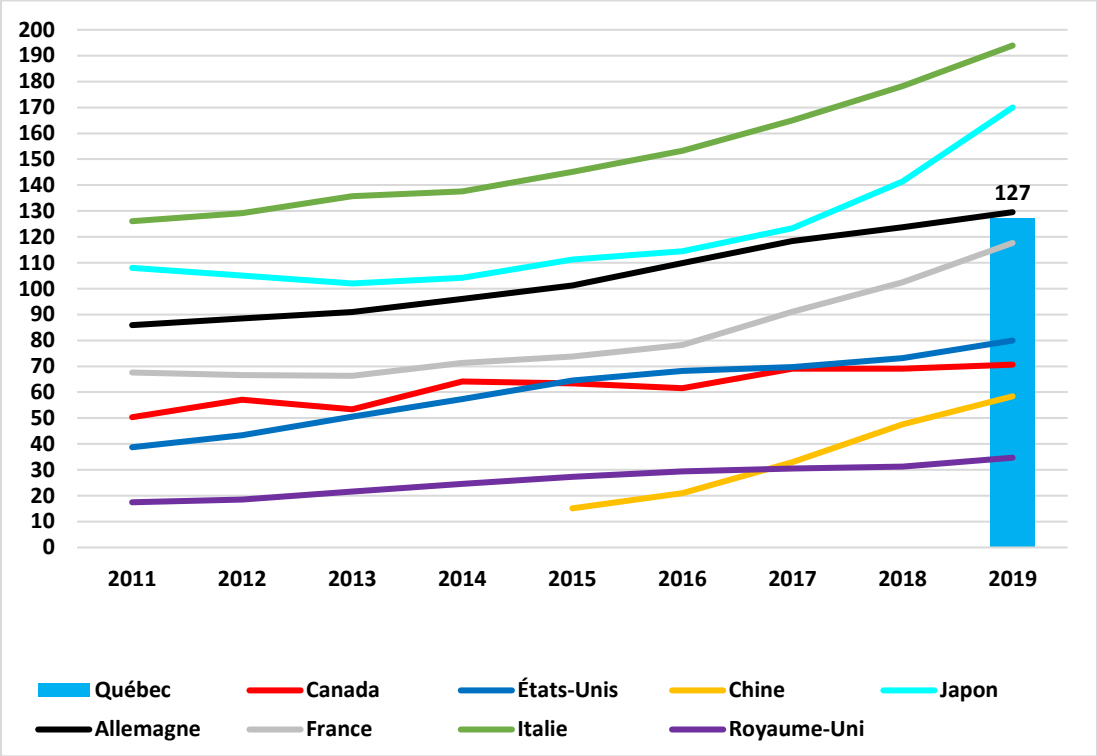
Graphique 92. Stock de robots industriels opérationnels du secteur de la métallurgie et des produits métalliques (ISIC 24-28) en % du stock total du secteur manufacturier, par pays[193]



Au Québec en effet, tel que rapporté au chapitre 2, l'industrie automobile se limite aux carrosseries et aux pièces et ne comporte plus d'usines d'assemblage comme on en trouve en quantité en Ontario et dans les autres pays producteurs recensés. Par conséquent, *le stock et la densité robotiques du secteur automobile québécois sont très largement moins importants et cela a pour effet d'accroître le poids relatif d'autres secteurs industriels, dont la métallurgie et les produits métalliques, en proportion du stock de robots manufacturiers global de la province*. Bien que cela explique en bonne partie l'écart important qui sépare, à cet égard, le Québec du Canada et des autres économies avancées (à l'exception de l'Italie) dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques, il faut tout de même souligner également que le Québec est effectivement à son échelle assez performant dans ces industries, y compris dans les créneaux de la machinerie et du matériel électrique, qui sont par ailleurs particulièrement matures sur le plan technologique. On peut penser entre autres aux industries québécoises de la sidérurgie, de l'acier, de l'aluminium, des produits d'architecture et des charpentes métalliques (voir ici le cas du *Groupe ADF Inc.*, recensé un peu plus loin), de l'usinage et des produits tournés (voir dans ce cas l'exemple de l'entreprise *Leesta*,

évoqué au chapitre 3), de la machinerie agricole et des machines-outils industrielles (voir ici le Créneau d'excellence de la Mauricie/Centre-du-Québec) [194], des équipementiers et de l'appareillage électriques (qui gravitent notamment autour de la grappe noyautée par Hydro-Québec), ou même à l'industrie des systèmes électroniques (qui possède également son pôle d'excellence, l'ISEQ[195]), qui s'étend sur un assez large spectre de l'équipement informatique à l'optique-photonique.

Graphique 93. Densité robotique du secteur de la métallurgie et des produits métalliques (ISIC 24-28) (robots opérationnels/10,000 employés)[196]



Compte tenu de l'importance de ces industries et de ces sous-secteurs au Québec, il est vraisemblable que la densité robotique d'ensemble des créneaux de la métallurgie et des produits métalliques y soit, à environ 127 robots/10,000 employés en date de 2019 comme nos estimations l'indiquent, assez largement supérieure à celle du Canada (71/10,000) ou des États-Unis (80) et plutôt similaire à celle de la France (118) ou de l'Allemagne (130). À ce niveau, le Québec serait néanmoins encore en retard sur les leaders mondiaux que sont en cette matière les industries métallurgiques et des produits métalliques du Japon (170 robots /10,000 employés) et d'Italie (194), bien que dans ces deux cas et contrairement au Québec, un léger déclin du bassin d'emplois dans ces deux secteurs depuis le début des années 2010 explique en partie la croissance de densité robotique en termes relatifs. Ici encore, bien qu'il soit possible que nos estimations aient pour effet de surestimer la densité robotique de ces créneaux pour le Québec, les données de Statistique Canada sur l'utilisation des technologies de pointe/3.0. et émergentes/4.0. nous portent à croire que,

le cas échéant, cette surestimation n'est probablement pas déraisonnable. En effet, tant pour les secteurs de la 1e transformation des métaux et de la fabrication de produits métalliques, dont nous présentons les données dans la présente section, que pour les industries de la machinerie, de l'électronique et du matériel électrique, dont le portrait est brossé aux sections suivantes, la maturité technologique du Québec semble généralement égale ou dans bien des cas, supérieure à celle de l'Ontario ou du Canada dans son ensemble.

Étude de cas #10 : Groupe ADF Inc.

Leader nord-américain dans la conception et l'ingénierie de connexions, dans la fabrication ainsi que dans l'installation de charpentes métalliques complexes, de composantes assemblées lourdes en acier et de métaux ouvrés et architecturaux.

Création : 1956 (Société constituée en 1979)
Siège social : Terrebonne
Usines (fabrication et ateliers de peinture) : Terrebonne, Qc et Great Falls (Montana, États-Unis)
Employés : 636 (dont 380 au Québec)
Secteurs d'activité principaux : ingénierie, gestion de projets et fabrication de superstructures en acier de haute complexité architecturale et géométrique; projets à échéancier accéléré
Principaux produits/services : Conception et ingénierie de connexions, fabrication (incluant la peinture industrielle) et montage de charpentes métalliques complexes, de composantes assemblées lourdes en acier puis de métaux ouvrés et architecturaux
Principales clientèles : industrie de la construction non-résidentielle (tours à bureaux et édifices en hauteur; complexes commerciaux et récréatifs; installations aéroportuaires; complexes industriels; infrastructures de transport)
Marché principal : États-Unis (plus de 80% des revenus pour les exercices financiers clos en janvier 2021 [81%] et en janvier 2022 [86%])

Innovation : robotisation/automatisation de l'usine de Terrebonne, notamment de la chaîne d'assemblage/soudage

Historique de l'entreprise

D'un atelier de forge fondé en 1956, Groupe ADF est devenu, au fil des ans, un chef de file nord-américain dans la conception et l'ingénierie de connexions, dans la fabrication, incluant la peinture industrielle, ainsi que dans le montage de charpentes métalliques complexes, de composantes assemblées lourdes en acier et de métaux ouvrés et architecturaux. La Société a été constitué le 22

octobre 1979 en vertu de la Loi canadienne sur les Sociétés par actions sous la dénomination sociale « Les Entreprises El Drago Ltée ».

Le 5 août 1998, la Société a changé sa dénomination sociale pour « Groupe ADF Inc. ». Le 1e avril 1999, en prévision d'un premier appel public à l'épargne, la Société a déposé des statuts de modification pour supprimer certaines restrictions relatives aux Sociétés fermées. Le 20 juillet 1999, ADF faisait son entrée en Bourse, ses actions y étant toujours transigées en date d'aujourd'hui (TSX : **DRX**).

Historique d'automatisation

Au début de l'année 2021, Groupe ADF a finalisé la mise à jour de son plan d'affaire pour l'horizon FY2022/2026. Ce plan s'articulait autour de 10 objectifs principaux, le principal étant l'automatisation de ses processus de fabrication. L'automatisation, incluant l'ajout d'une ligne robotique, permet à ADF d'augmenter sa capacité de fabrication, d'augmenter son efficacité opérationnelle et réduit la pression sur ses requis d'embauche.

Principales technologies utilisées

- Équipement à contrôle numérique, soudeuse, pont-roulant, robot soudage, presse plieuse
- Transfert de données vers équipements à commande numérique par ordinateur (CNC)
- Robotisation – fabrication/procédés d'assemblage et de soudage de poutres
- Systèmes intégrés de production, comptabilité, et estimation – Progiciels de gestion intégrée (*Enterprise Resource Planning* - ERP) en développement interne
- Modélisation 3D
- *Body of Knowledge*-BoD (gestion de projets) – données partagées / visualisées en temps réel (interne et externe-clients).

Principaux défis liés aux technologies utilisées

- Formation des travailleurs
- Population vieillissante dans notre secteur d'activité (moins encline à utiliser de nouvelles technologies/difficulté d'apprentissage, réticence)
- Environnement d'usine (ex. poussière d'acier) pouvant affecter les équipements technologiques
- Arrimage des systèmes informatiques
- Perte d'expertise des méthodes traditionnelles découlant de l'automatisation

Impacts sur la production/productivité

L'objectif vise à accroître la capacité de production annuelle de plus de 50 % (i.e. rapidité d'exécution) tout en conservant/améliorant la qualité du produit. Un plus grand volume de production (tonnage fabriqué annuellement) permet de desservir plus de clients et de réaliser davantage de contrats. La robotisation/automatisation ouvre également une nouvelle ère pour les travailleurs, qui sont plus intéressés/réceptifs aux nouvelles technologies. Elle permet aussi d'attirer de nouveaux candidats pour

l'embauche (tant pour les postes liés à la production que les postes de techniciens et d'ingénieurs liés à la robotisation/automatisation).

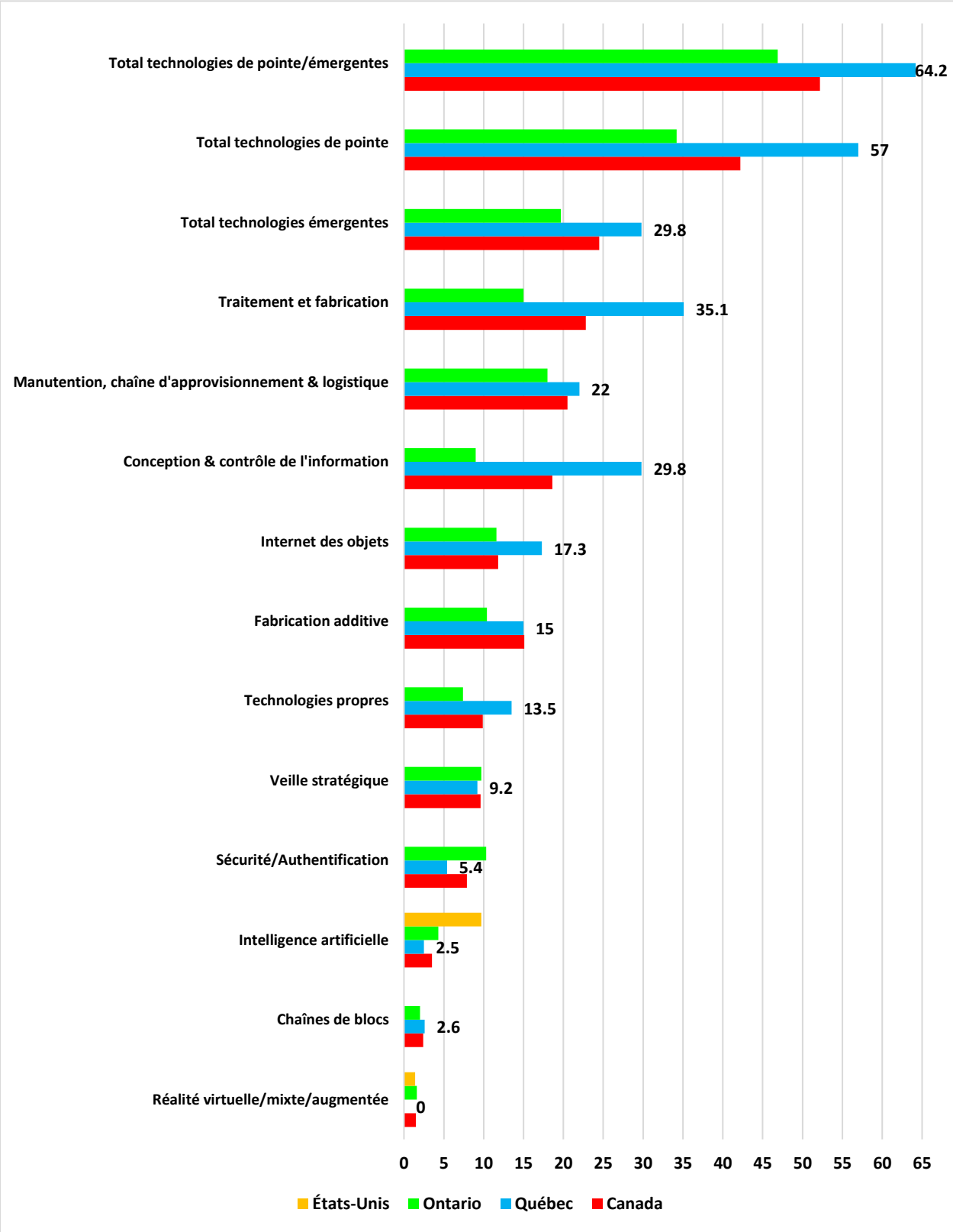
Impacts sur l'utilisation de la main d'œuvre

L'automatisation permettra à ADF de mieux utiliser ses ressources/talents spécialisés. Compte tenu que la nouvelle chaîne robotique fabrique (assemblage et soudage) principalement des poutres d'acier dites « standards », le personnel de production pourra se concentrer sur le type de fabrication plus complexe et à haute valeur ajoutée. Compte tenu des prévisions pour les prochaines années, ADF devra tout de même procéder à l'embauche de nouveaux employés afin de rencontrer la demande. Néanmoins, cette robotisation/automatisation viendra réduire la pression au niveau des nouvelles embauches.

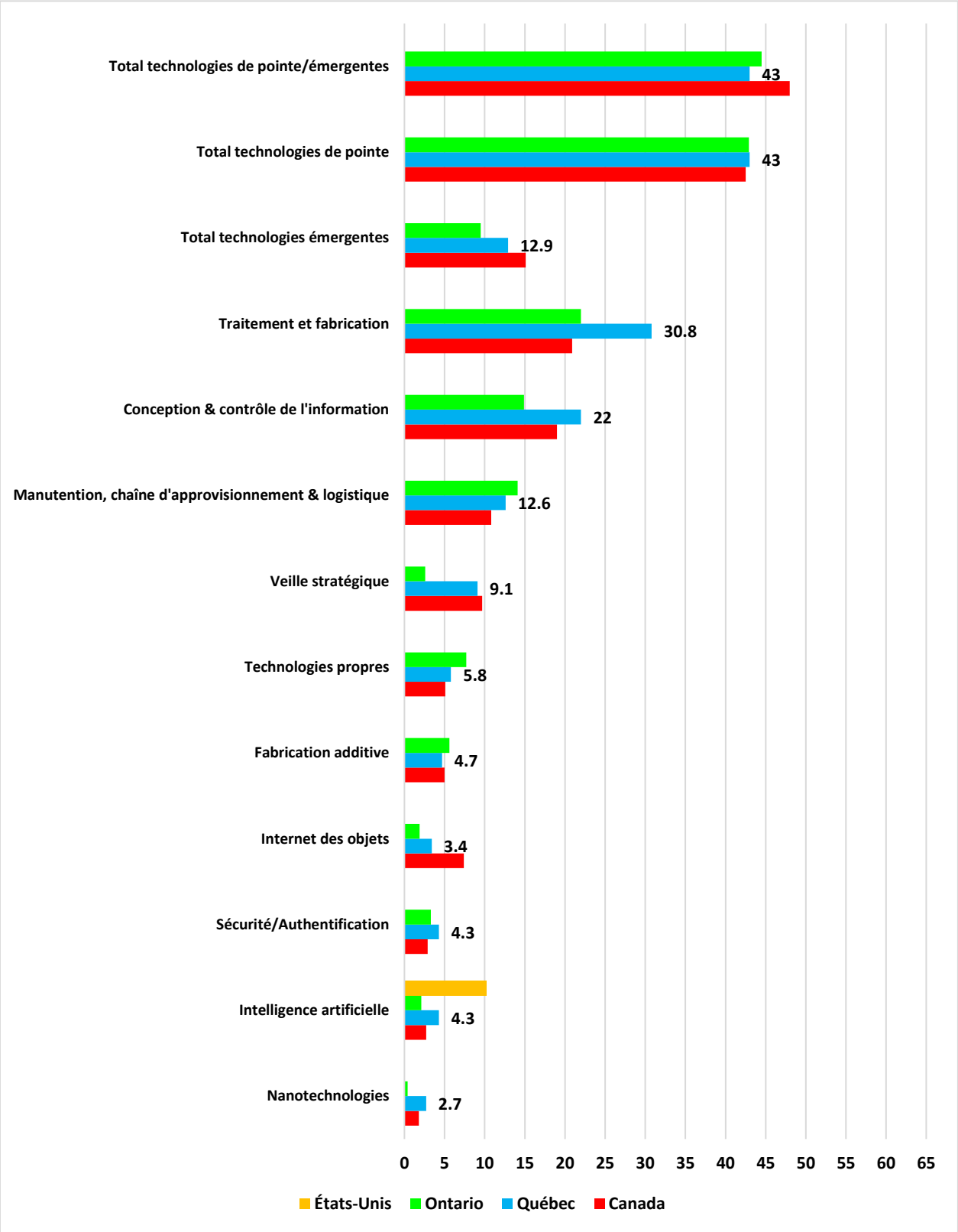
Si on s'attarde d'abord au secteur de la première transformation des métaux, les écarts à l'avantage du Québec sautent effectivement aux yeux. Pour l'intégration des technologies émergentes/4.0. comme, en particulier, pour l'utilisation des technologies de pointe/3.0. l'avance des entreprises québécoises de la métallurgie est importante. Dans ce second cas, cette avance est surtout marquée pour les technologies de traitement et de fabrication (dont la robotique) puis pour les technologies de conception et de contrôle de l'information, mais elle s'applique également dans une moindre mesure aux systèmes de manutention et de gestion logistique. En ce qui concerne les technologies 4.0., la maturité des entreprises métallurgiques québécoises semble également supérieure dans les domaines de l'Internet des objets et de la fabrication additive (vs. Ontario), mais aussi des technologies propres. Dans l'ensemble, la métallurgie québécoise semble ainsi plus technologiquement avancée qu'en Ontario ou dans le reste du Canada, même si elle accuse apparemment en revanche quelques légers retards pour l'adoption des technologies de cybersécurité, de réalité virtuelle ou d'intelligence artificielle (son retard dans ce dernier cas étant particulièrement marqué face aux entreprises américaines, qui ont également une avance importante sur leur concurrentes ontariennes et plus généralement, canadiennes).

En ce qui concerne le secteur de la fabrication des produits métalliques, la situation est plus mitigée. Pour l'adoption des technologies de pointe/3.0., le Québec semble au pair avec l'Ontario et le Canada, mais en avance pour les technologies de conception et de contrôle de l'information, de veille stratégique (vs. Ontario) puis surtout, de traitement et de fabrication (dont la robotique). Dans le cas des technologies émergentes/4.0., les fabricants de produits métalliques québécois sont également plus nombreux, relativement parlant, que leurs concurrents ontariens et/ou canadiens à avoir adopté l'Internet des objets (vs. Ontario), les nanotechnologies ou l'intelligence artificielle (bien que dans ce dernier cas le retard face aux États-Unis soit également significatif). De manière générale, on peut donc clairement dire que les industries québécoises de la métallurgie et des produits métalliques sont parmi les plus technologiquement avancées au Canada, mais ce qui frappe le plus et confirme le bien-fondé de nos estimations sur leur densité robotique est leur avance importante, dans les deux cas, en ce qui concerne l'adoption des technologies de traitement et de fabrication, dont la robotique industrielle est une classe centrale.

Graphique 94. Part (%) des entreprises du secteur de la 1e transformation des métaux utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes (2017-2019)[197]



Graphique 95. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication de produits métalliques utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes (2017-2019)[198]



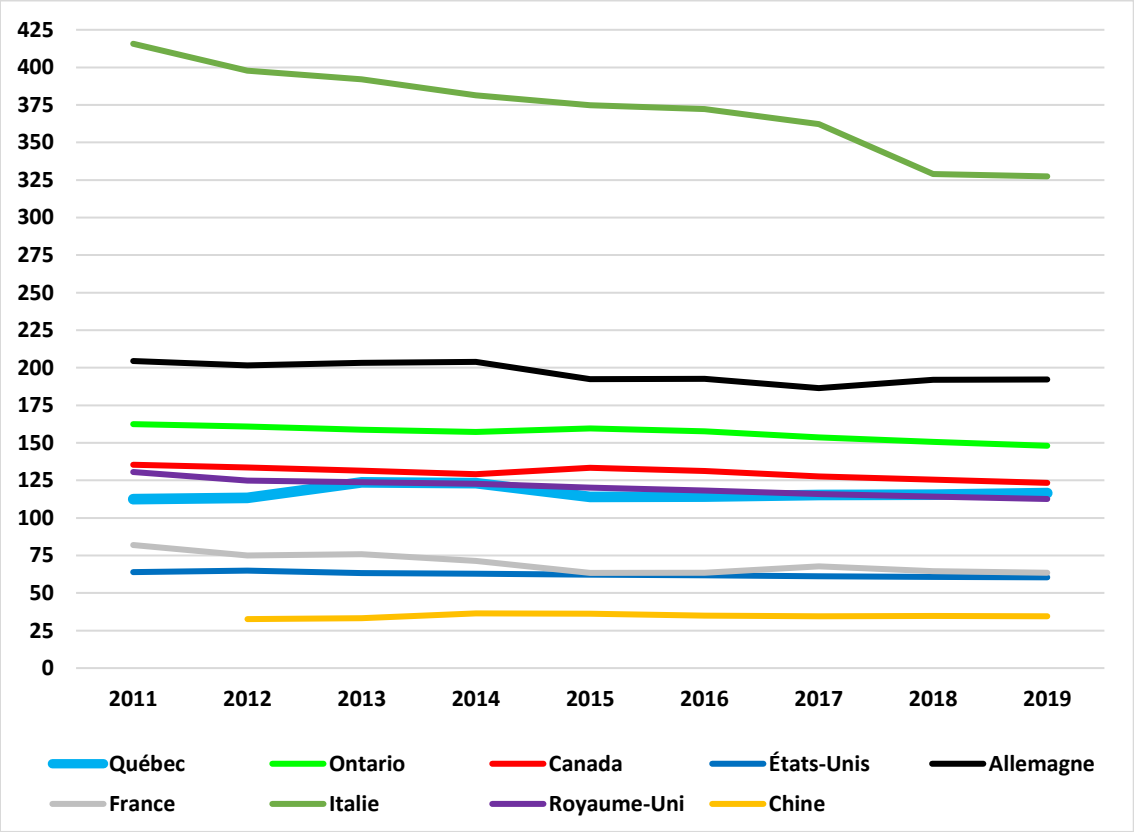
5.3. Le secteur de la machinerie

5.3.1. Caractéristiques économiques comparées

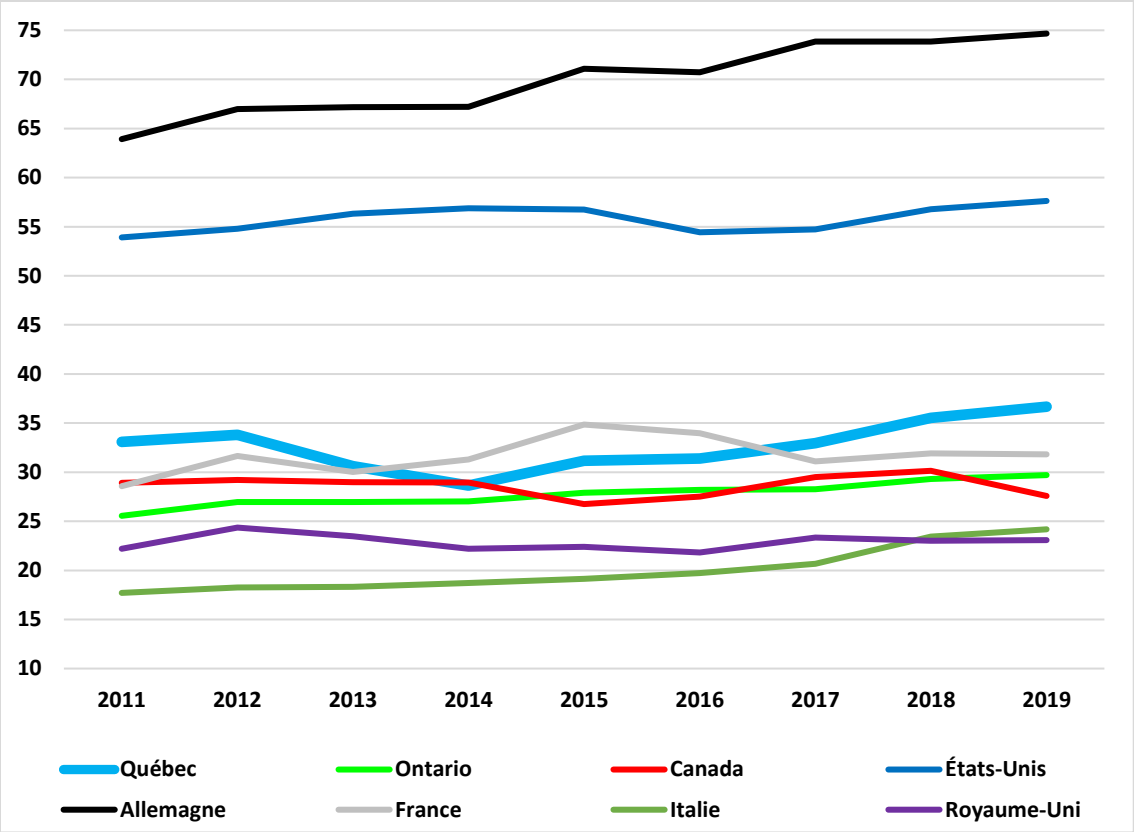
➢ Tout comme dans les secteurs de la métallurgie et des produits métalliques, l'Italie possède dans le secteur de la machinerie, de loin, la plus forte densité d'entreprises malgré un déclin significatif depuis le début des années 2010. À plus de 325 entreprises par million d'habitants dans le secteur de la machinerie en date de 2019, l'Italie surpasse de loin l'Allemagne (192) et l'Ontario (148), respectivement en deuxième et troisième positions. À l'autre bout du spectre, la Chine (35), les États-Unis (60) et la France (64) ont une faible densité d'entreprises dans ce secteur, ce qui signale, en particulier en ce qui concerne les États-Unis, la présence d'une plus forte proportion de grandes entreprises.

➢ Dans le secteur de la machinerie, la densité d'entreprises est au Québec en milieu de peloton à l'échelle internationale. À un peu plus de 115 entreprises par million d'habitants en date de 2019 (proportion à peu près stable depuis le début des années 2010), le secteur québécois de la machinerie demeure à peu près au niveau de la moyenne canadienne ou britannique, légèrement en-deçà de la densité ontarienne (148), et loin derrière l'Allemagne (192) ou l'Italie (325). Cela démontre qu'il s'agit d'un secteur d'importance pour l'économie québécoise, et que la proportion de moyennes et de grandes entreprises y est relativement forte.

Graphique 96. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteur de la machinerie[199]



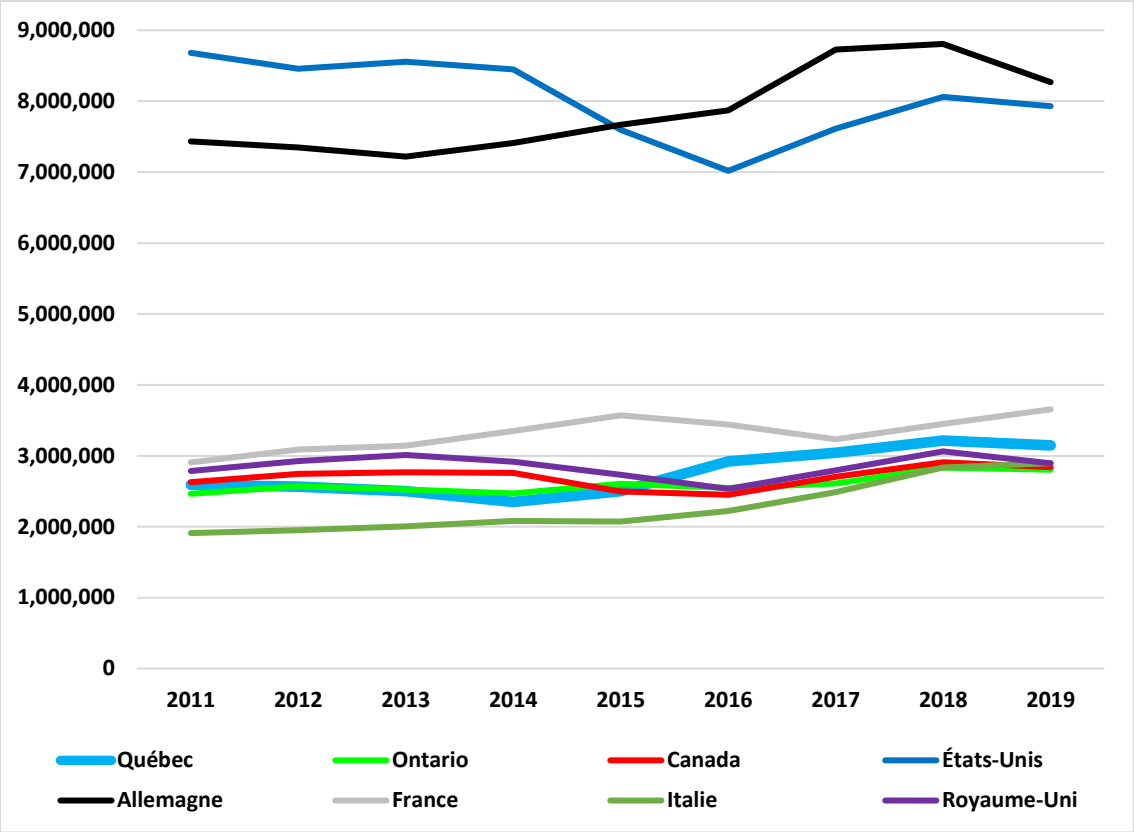
Graphique 97. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur de la machinerie[200]



➢ En plus de faire montre d'une des densités d'entreprises les plus importantes, dans le secteur de la machinerie, parmi les pays recensés, l'Allemagne est également de loin le pays où la taille moyenne des entreprises de ce secteur est la plus élevée à près de 75 employés par entreprise, une moyenne d'ailleurs en assez forte croissance depuis le début des années 2010. Seuls les États-Unis s'en rapprochent, à un peu moins de 60 employés par entreprise. Cela illustre la puissance bien connue de l'Allemagne dans le secteur de la machinerie.

➢ Même si la taille moyenne de ses entreprises dans le secteur de la machinerie est largement inférieure à celle de l'Allemagne ou des États-Unis, le Québec, où comme on le sait ce secteur est également très important, arrive en troisième position parmi les économies recensées à environ 37 employés par entreprise en date de 2019, une moyenne en légère augmentation depuis le milieu des années 2010. Les entreprises québécoises du secteur de la machinerie sont ainsi, en moyenne, plus grandes que celles de la France (32 emplois par entreprise en 2019), de l'Ontario (30), du Canada (28), de l'Italie (24) et du Royaume-Uni (23).

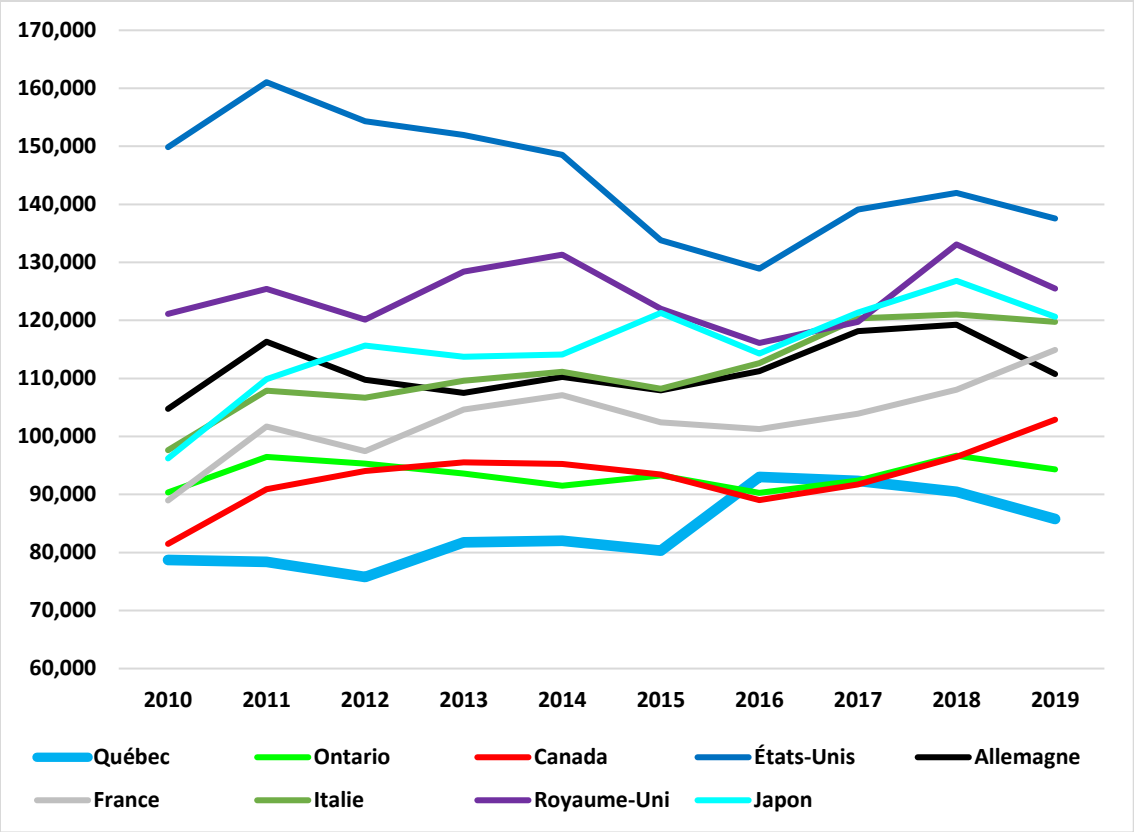
Graphique 98. PIB par entreprise, secteur de la machinerie ($ US constants de 2015)[201]



➢ Comme les entreprises allemandes et américaines sont, dans le secteur de la machinerie, largement plus grandes en moyenne que celles des autres pays de notre échantillon, il n'est pas surprenant de constater qu'elles produisent également davantage. Loin devant les autres pays recensés, les États-Unis et l'Allemagne se disputent depuis le début des années 2010 la première place en termes de production par entreprise, à entre 7 et 9 millions $US; les entreprises allemandes semblent cependant être sur une tendance ascendante, alors que la production par entreprise a quelque peu décliné aux États-Unis depuis 2011.

➢ Très loin derrière l'Allemagne et les États-Unis, le Québec se retrouve, en matière de production moyenne par entreprise dans le secteur de la machinerie, en milieu de peloton à l'échelle internationale. À un peu plus de 3,1 millions $US en date de 2019, moyenne en croissance depuis 2014, le Québec accuse toujours un léger retard sur la France (3,7 millions $US) mais surpasse à cet égard le Royaume-Uni, l'Italie, l'Ontario et le Canada, qui se retrouvent tous autour d'une moyenne légèrement inférieure à 2,9 millions $US. Ici encore, l'importance et la performance enviable de l'industrie québécoise de la machinerie est bien illustrée.

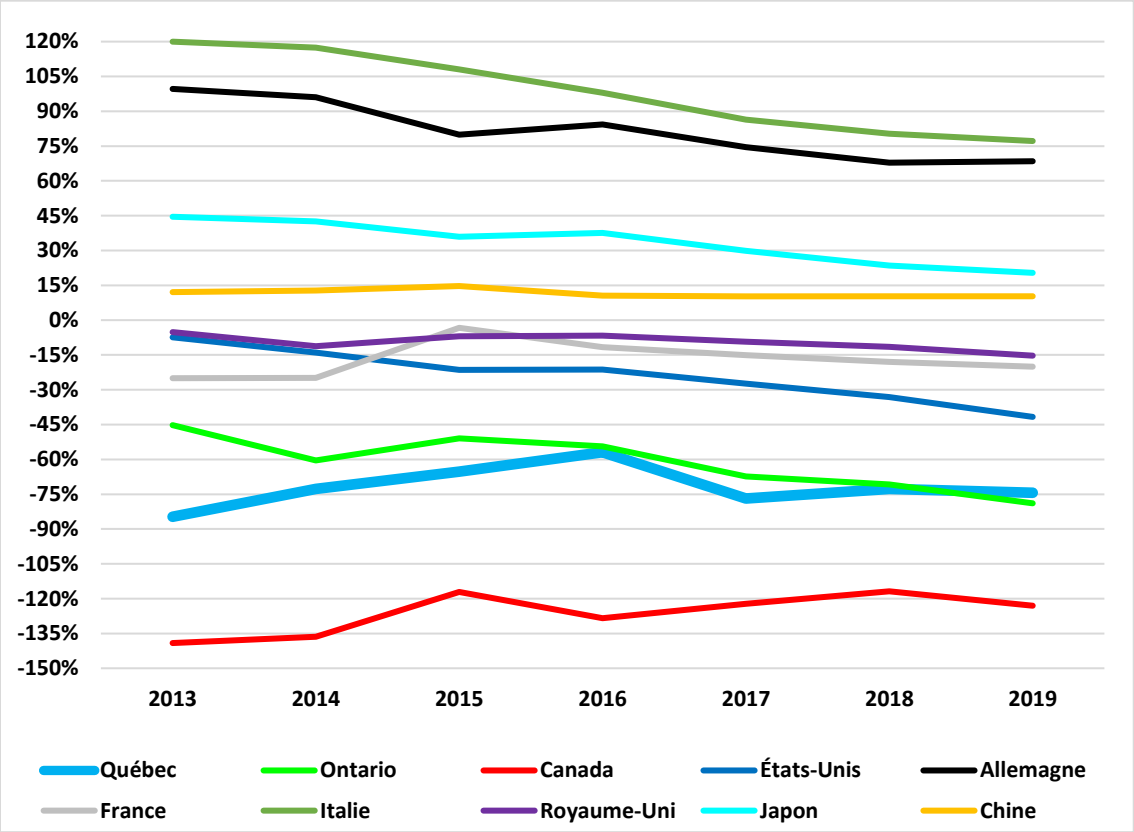
Graphique 99. PIB par emploi, secteur de la machinerie ($ US constants de 2015)[202]



➢ Malgré une légère croissance entre 2010 et 2019, la productivité du travail dans le secteur québécois de la machinerie, à un peu moins de 86 000 $US par emploi, se situait en 2019 sous les moyennes ontarienne (94 000 $US) et canadienne (103 000 $US) et en dernière position parmi les économies recensées. Même si la productivité ontarienne et canadienne est légèrement plus élevée que celle du Québec dans ce secteur, elle demeure néanmoins inférieure, également, à tous les autres pays recensés. L'Allemagne, à environ 111 000 $US par emploi, et la France à 115 000 $US (productivité en forte croissance depuis 2010) étaient en 2019 les plus proches concurrents du Canada et du Québec à cet égard.

➢ Loin devant le Québec et le Canada mais également au-dessus de l'Allemagne et de la France, on retrouve dans l'ordre l'Italie, à environ 120 000 $US par emploi en date de 2019, le Japon à 121 000 $US, le Royaume-Uni à 125 000 $US et en première position, les États-Unis à près de 138 000 $US. Si la productivité du travail dans les secteurs de la machinerie italien, japonais et britannique a augmenté significativement au cours de la décennie 2010 toutefois, l'inverse est vrai pour l'industrie américaine de la machinerie, dont la productivité a chuté de près de 150 000 $US par emploi en 2010 à moins de 138 000 $US en 2019.

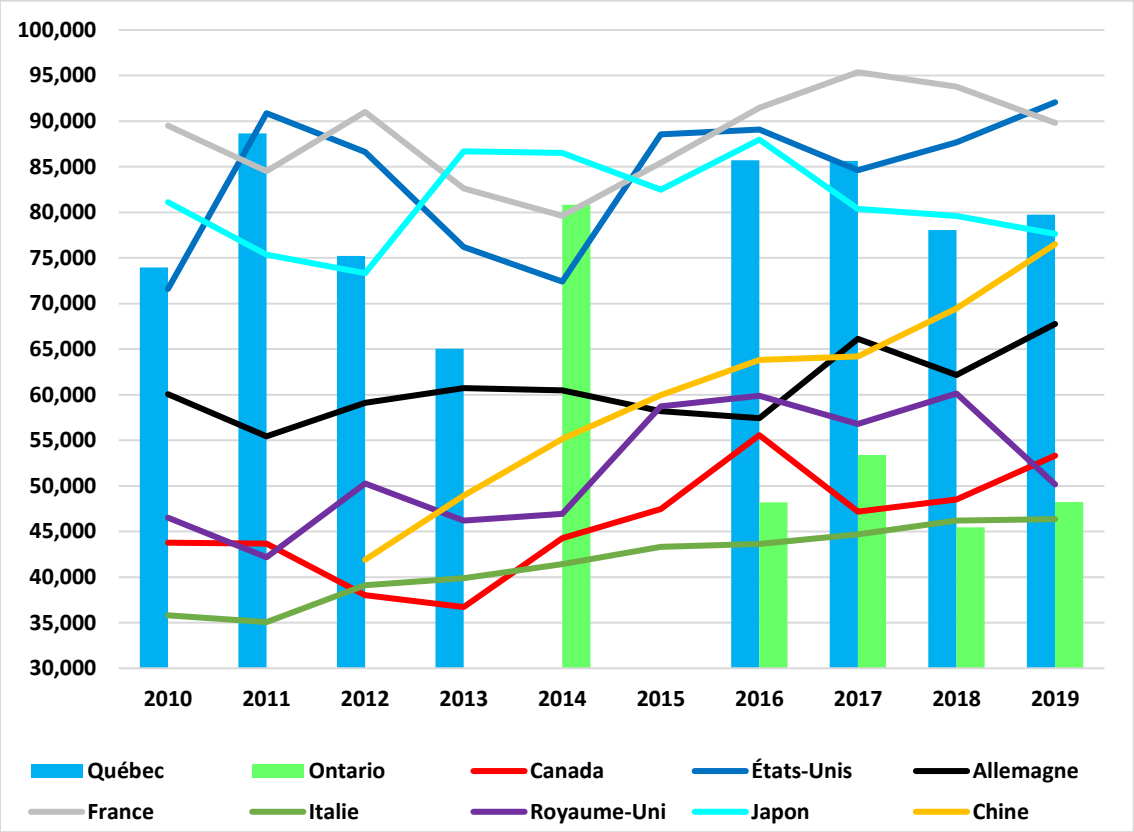
Graphique 100. Valeur de la balance commerciale du secteur de la machinerie en % du PIB du secteur de la machinerie[203]



➢ Malgré une certaine amélioration au cours des années 2010, le secteur de la machinerie québécois génère toujours des déficits commerciaux internationaux relativement importants : en proportion du PIB du secteur, ce déficit atteignait en date de 2019 près de 75%, soit légèrement moins que les 79% de déficit atteints en Ontario et beaucoup moins que les 123% de déficit atteints au Canada pris dans son entièreté. * Il est cependant important de noter ici que le déficit commercial global du secteur québécois de la machinerie s'estompe complètement si on inclut au calcul les « réexportations » (sans valeur ajoutée) : dans ce cas, le secteur génère plutôt de léger *surplus commerciaux* depuis le milieu des années 2010.

➢ Le déficit commercial du secteur québécois de la machinerie, même si proportionnellement inférieur à celui de l'Ontario ou du Canada, demeure l'un des plus importants parmi les économies recensées. Les États-Unis (-42% du PIB sectoriel), la France (-20%) et le Royaume-Uni (-15%) avaient également, en date de 2019, des soldes commerciaux négatifs dans ce secteur, mais plus légers que celui du Québec (-75%). En revanche, la Chine (+10% du PIB sectoriel), le Japon (+20%) puis surtout, l'Allemagne (+69%) et l'Italie (+77%) génère pour leur part toujours des surplus commerciaux plus ou moins importants dans le secteur de la machinerie.

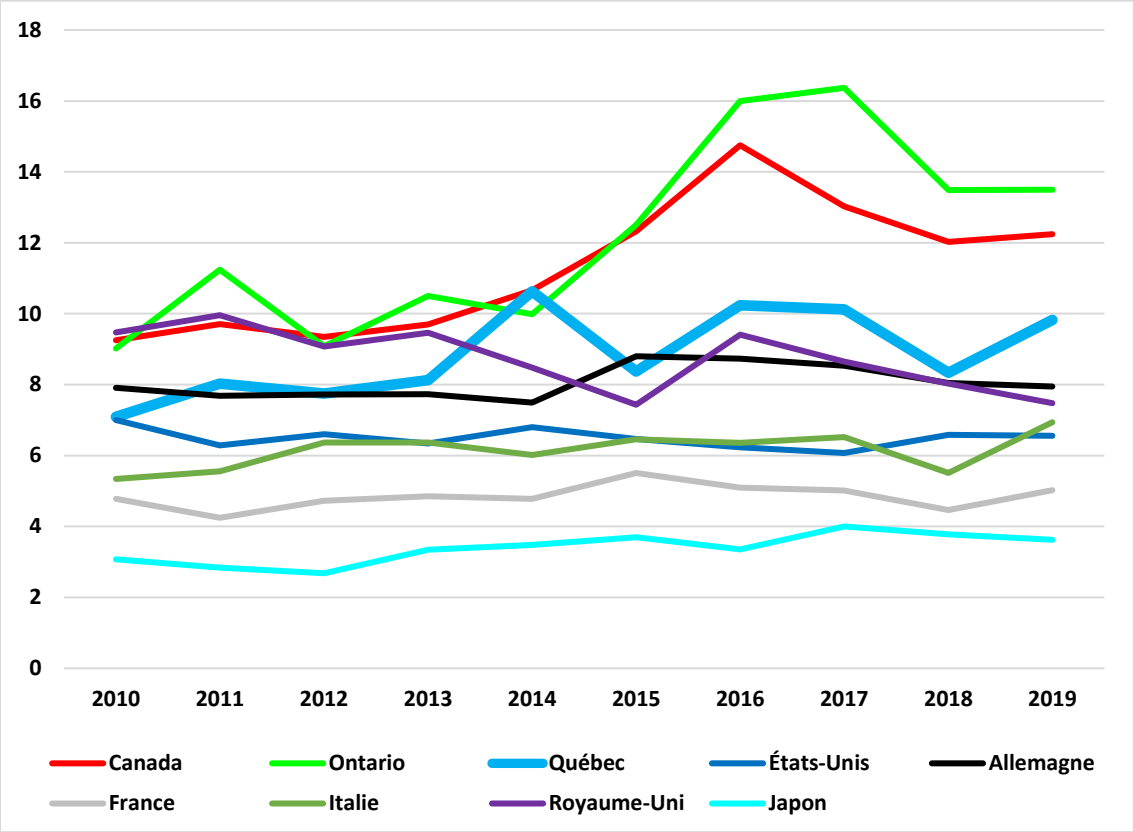
Graphique 101. Dépenses en R&D du secteur de la machinerie pour chaque million $ de PIB du secteur de la machinerie ($ US constants de 2015)[204]



➢ En date de 2019 mais plus généralement au cours des années 2010, le Québec se retrouvait dans la fourchette supérieure des pays recensés investissant le plus en R&D dans le secteur de la machinerie. Malgré des fluctuations annuelles importantes, que l'on retrouve d'ailleurs à peu près partout, de manière générale le secteur québécois de la machinerie investit beaucoup plus en R&D (près de 80 000 $US par million $ de PIB en 2019) que ses concurrents ontarien (48 000 $US), canadiens (53 000 $US), italiens (46 000 $US), britanniques (50 000 $US) ou même allemands (68 000 $US), chinois (76 500 $US) ou japonais (78 000 $US).

➢ En revanche, et à quelques exceptions près, les secteurs américain (92 000 $US en 2019) et français (89 000 $US) de la machinerie investissaient toujours, proportionnellement, davantage en R&D que le secteur québécois. Néanmoins, avec des niveaux de dépenses en R&D aussi élevés à l'échelle internationale, le secteur québécois de la machinerie est clairement, et en particulier en comparaison avec ses concurrents canadien et ontarien, assez fortement tourné vers l'innovation.

Graphique 102. PIB du secteur de la machinerie pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur de la machinerie ($ US constants de 2015)[205]



➢ Comme dans beaucoup d'autres secteurs manufacturiers, le Québec se retrouve dans le secteur de la machinerie en devant de peloton, à l'échelle des pays recensés, en ce qui concerne la productivité du capital. À près de 10 $US de PIB pour chaque dollar d'investissement en capital fixe en date de 2019, la productivité du capital québécois dans le secteur de la machinerie surpassait celle de l'Allemagne (8 $US), du Royaume-Uni (7,5 $US), de l'Italie (7 $US), des États-Unis (6,5 $US), de la France (5 $US) et du Japon (4 $US). La productivité du capital dans le secteur québécois de la machinerie est également largement supérieure à celle du secteur manufacturier dans son ensemble, ce qui confirme l'importance et la performance de ce secteur.

➢ Malgré, par ailleurs, une croissance notable de la productivité du capital québécois dans le secteur de la machinerie depuis le début des années 2010, le Québec accuse toujours un retard assez important, pour cet indicateur, sur l'Ontario et le Canada qui ont également connu dans ce secteur une forte croissance de leur productivité du capital depuis 2010. À respectivement 12 $US de PIB par dollar de capital fixe et 13,5 $US, le Canada et l'Ontario surpassaient en 2019 non seulement le Québec mais tous les pays recensés.

5.3.2. Maturité technologique comparée

Tableau 19. Stock robotique du secteur de la machinerie (ISIC 28, 2020)[206]

Québec	Canada	États-Unis	Royaume-Uni	France	Allemagne	Italie	Japon	Chine
434	730	5032	567	3471	12067	5664	27154	43567

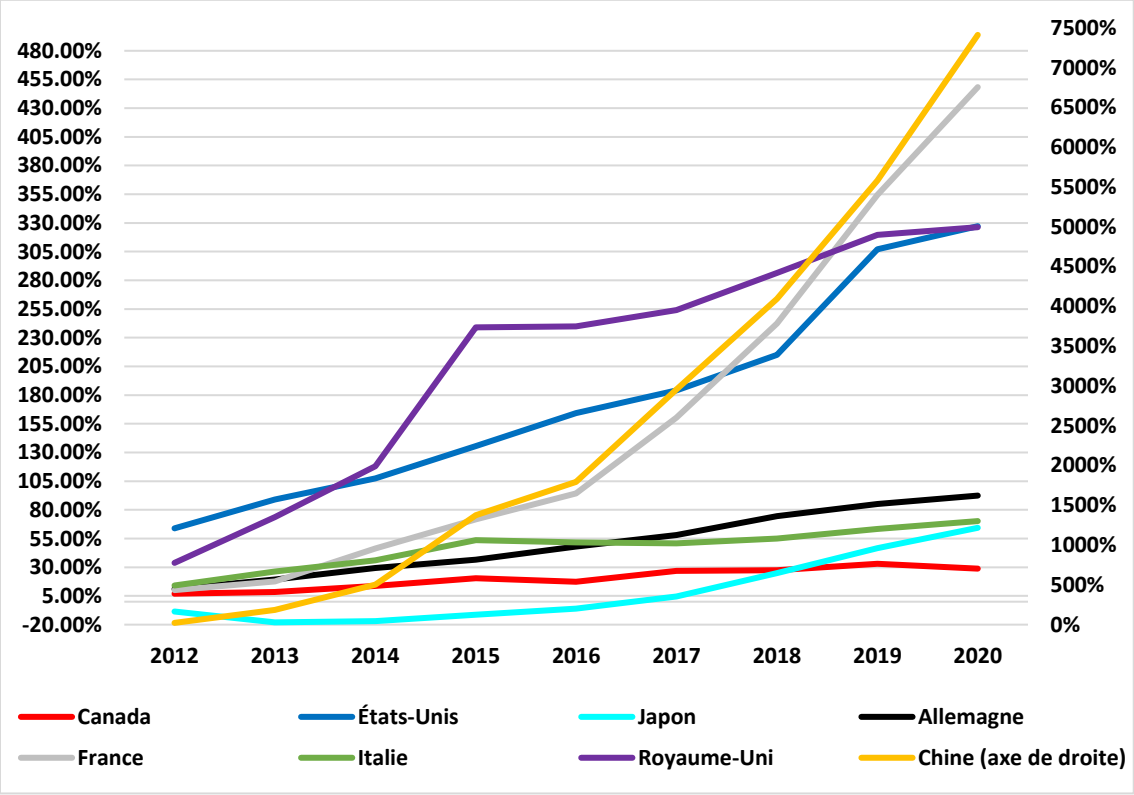
L'industrie de la machinerie et de l'outillage industriels occupe évidemment une position particulièrement clef puisqu'elle est à la fois bénéficiaire et productrice de solutions d'automatisation et/ou de leurs composantes. Que l'on pense à la machinerie agricole ou agroalimentaire (réservoirs, convoyeurs, mélangeurs, hachoirs, emballeuses, etc.), aux machines-outils pour le travail du bois et le sciage (séchoirs, tours à bois, déchiqueteuses, raboteuses, ponceuses, scies, etc.), pour l'industrie papetière (lessiveuses, presses, tourne-billes, bobineuses, défileuses, etc.), pour le travail du métal (tours, fraiseuses, soudeuses, boulonneuses, équipement de peinture, etc.) ou pour le moulage des plastiques et caoutchoucs (outils de façonnage et d'injection, moules et matrices, extrudeuses, etc.), que l'on pense aux appareils de ventilation/chauffage/réfrigération, aux moteurs, pompes et compresseurs, ou au large éventail d'équipements de manutention et d'empaquetage produits par l'industrie de la machinerie, force est de constater que le développement de cette dernière est non seulement critique pour la croissance et la modernisation d'une foule de secteurs manufacturiers en amont, mais aussi pour leur robotisation.

Le propre de la robotique industrielle, de manière générale, est effectivement de complémenter et de maximiser l'utilisation, voire carrément d'assurer l'opérabilité ou même l'opération de la machinerie industrielle de base, elle-même de plus en plus automatisée (machines-outils à commande numérique, etc.). La présence d'une industrie moderne et dynamique de la machinerie et de l'outillage industriels est donc un avantage comparatif important pour toute économie souhaitant accélérer l'automatisation et/ou la robotisation de son secteur manufacturier. Le Québec peut heureusement compter sur le dynamisme de ce secteur, l'un des seuls du manufacturier de moyenne/haute technologie à dégager, au cours des dernières années, des surplus commerciaux (en incluant les ré-exportations). Globalement, l'industrie québécoise de la machinerie industrielle a connu une croissance de son PIB depuis la crise financière de 2008, et sa productivité demeure supérieure à la moyenne de ce secteur pour le Canada dans son ensemble. Tel que cette section en fera par ailleurs état, son degré de maturité technologique semble assez élevé, égal ou sur bien des plans, supérieur à son pendant ontarien et/ou aux moyennes canadiennes.

Le caractère stratégique de ce secteur et l'importance d'en favoriser la modernisation technologique n'a évidemment pas échappé aux principales économies avancées, comme en témoigne notamment le taux de croissance de son stock robotique au cours des années 2010 : à moins de 30% de croissance entre 2011 et 2020, le Canada est en fait le pays où cette industrie s'est robotisée le moins rapidement, ce qui ne surprend pas outre mesure considérant que contrairement à celui du Québec, le secteur canadien de la machinerie a connu depuis le début des

années 2000 une stagnation relative de son PIB comme de son bassin d'emplois. *Loin devant le Canada, les industries de la machinerie japonaise (64%), italienne (70%), allemande (92%) et surtout britannique (326%), américaine (327%), française (448%) puis évidemment, chinoise (7412%) ont connu de fortes, voire de gigantesques hausses de leurs stocks robotiques opérationnels.* Dans le cas de la France, cette croissance a été surtout marquée durant la seconde moitié des années 2010 et s'est accompagnée d'une forte augmentation de la densité robotique du secteur, qui s'explique cependant en partie par la contraction de son bassin d'emplois. On peut donc en conclure que la robotisation de l'industrie française de la machinerie s'est effectuée en partie en remplacement de la main d'œuvre. Dans le cas du Royaume-Uni et des États-Unis, en revanche, cet effort notable de robotisation au cours des années 2010 relevait surtout du rattrapage, et n'a pas permis à leurs industries de la machinerie de combler leur important retard en matière de densité robotique.

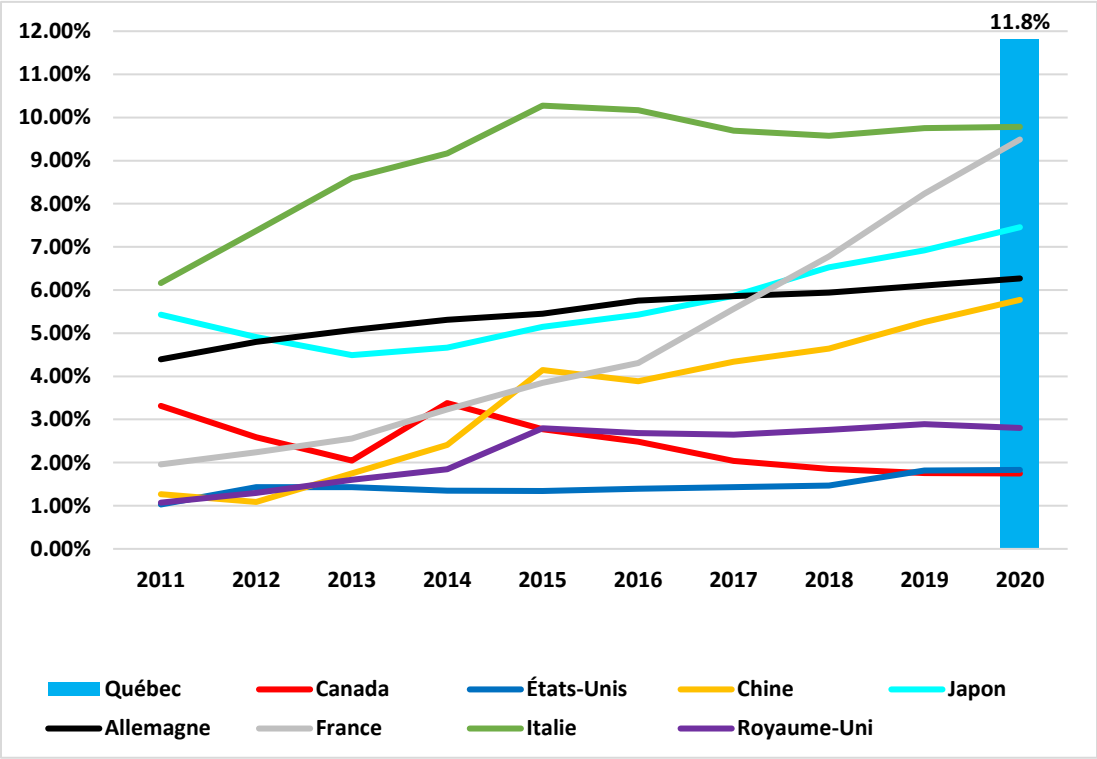
Graphique 103. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteur de la machinerie industrielle (ISIC 28) (année de référence = 2011)[207]



Un portrait contrasté se dessine également lorsque l'on examine ce secteur à l'aune du poids que représente son stock robotique en proportion de celui de l'industrie manufacturière dans son ensemble. À 1,7% en date de 2020, ce poids se révèle marginal au Canada, mais en phase avec les proportions observées aux États-Unis. Le stock robotique de l'industrie britannique de la machinerie ne pèse d'ailleurs pas beaucoup plus lourd, à 2,8% du total manufacturier. Dans les

autres économies avancées en revanche, le poids relatif de cette industrie de la machinerie s'avère plus important. En Chine (5,8%), en Allemagne (6,3%) et au Japon (7,5%) ce poids est d'ailleurs en assez forte croissance depuis le début des années 2010 et témoigne de l'importance grandissante du secteur au sein du manufacturier de moyenne-haute technologie. En France et en Italie, cette croissance a été encore plus drastique, de sorte qu'en date de 2020, le stock robotique de leur industrie de la machinerie représentait désormais pratiquement 10% du stock manufacturier global, l'une des proportions les plus élevées après l'automobile (voir chapitre 2), le secteur des produits en plastique/caoutchouc (voir chapitre 6) et l'alimentaire (voir chapitre 4).

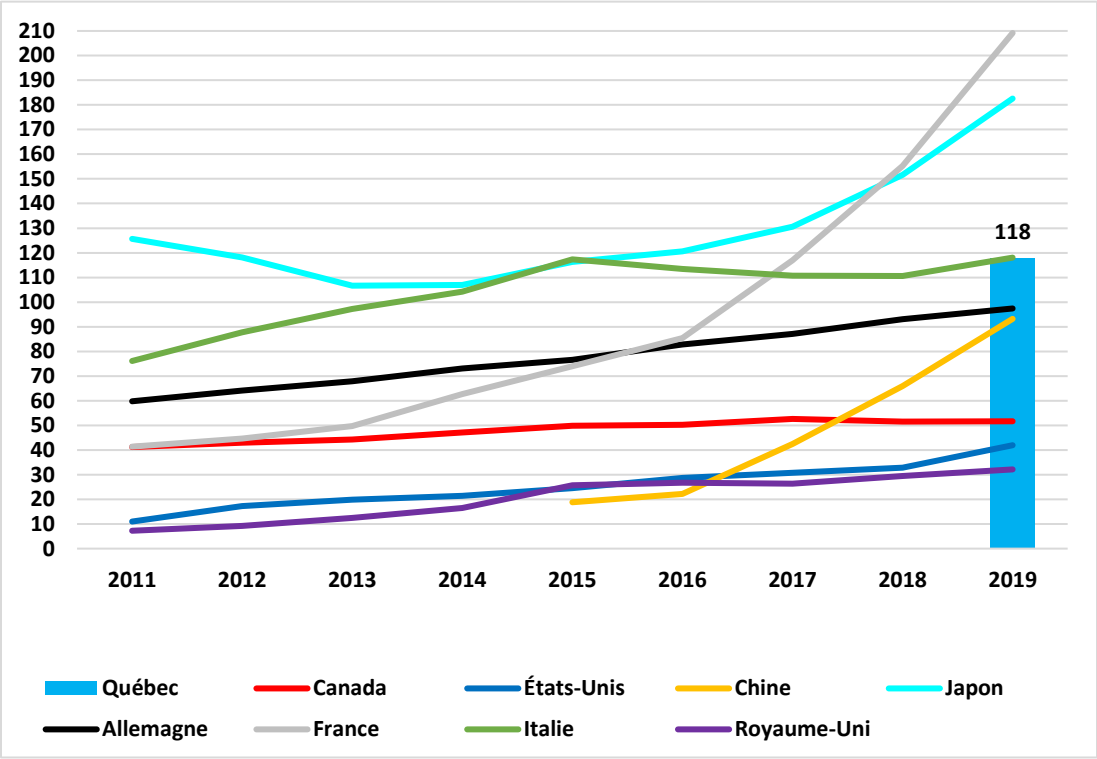
Graphique 104. Stock de robots industriels opérationnels du secteur de la machinerie industrielle (ISIC 28) en % du stock total du secteur manufacturier, par pays[208]



Au Québec, nous avons estimé que l'industrie dynamique de la machinerie comptait, en date de 2020, pour près de 12% du stock robotique manufacturier global, soit tout juste au-dessus des proportions française et italienne mais loin devant la moyenne canadienne. Évidemment, il faut réitérer que dans le cas du Québec (comme, dans une moindre mesure, dans le cas de l'Italie), cela s'explique notamment du fait que l'absence d'une industrie automobile intégrée, qui partout ailleurs dans les pays recensés représente une très forte proportion du stock robotique global, a pour effet d'accroître automatiquement le poids des autres secteurs manufacturiers d'importance. Néanmoins, nos calculs nous indiquent aussi que *l'industrie québécoise de la machinerie est particulièrement avancée sur le plan de la densité robotique, ce qui démontre que l'absence d'usines d'assemblage automobile n'explique pas tout. À 118 robots/10,000 employés, la densité robotique de cette industrie au Québec serait, en date de 2019, à peu près au niveau de celle de*

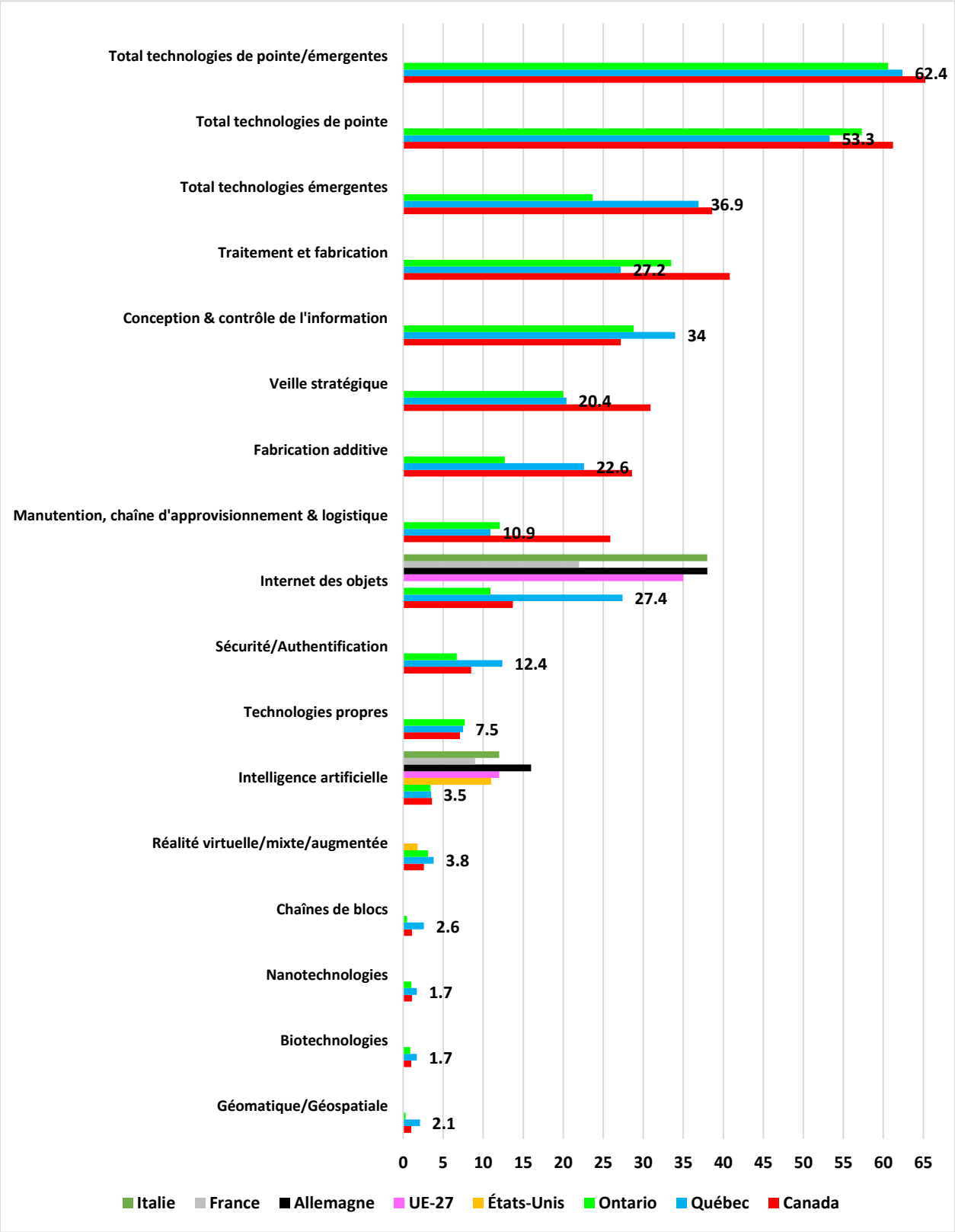
l'Italie (118) mais loin derrière celles de la France (209) ou du Japon (183), qui ont toutes deux connu une forte poussée après 2015. Elle serait toutefois largement supérieure à la densité robotique des industries britannique (32), américaine (42) et canadienne (52), puis légèrement plus importante que celle de la Chine (93) ou de l'Allemagne (97).

Graphique 105. Densité robotique du secteur de la machinerie industrielle (ISIC 28) (robots opérationnels/10,000 employés)[209]



Que le Québec soit si en avance sur le Canada et les États-Unis puis peut-être surtout, qu'il surpasse le fort réputé secteur allemand de la machinerie peut paraître un peu surprenant. Il est donc possible que la densité robotique québécoise soit ici passablement surestimée, bien que plusieurs études récentes aient montré que l'industrie de la machinerie est bien l'une des plus technologiquement matures au Québec[210]. Les données de Statistique Canada indiquent également, ici encore, que le secteur de la machinerie québécois est, à quelques exceptions près et à plusieurs égards autant, sinon plus avancé, technologiquement, que ses équivalents ontarien et/ou canadien. *En ce qui concerne l'utilisation des technologies émergentes notamment, l'avance du Québec sur l'Ontario est forte, particulièrement dans les créneaux de la fabrication additive et de l'Internet des objets (pour lequel le Québec fait presque aussi bien que les pays européens). Les fabricants québécois de machines sont également plus nombreux, proportionnellement, à utiliser les technologies de cybersécurité ou de conception et de contrôle de l'information que leurs concurrents ontariens et canadiens, puis semblent légèrement en avance aussi quant à l'usage des chaînes de blocs, de la géomatique/géospatiale et de la réalité virtuelle.* En revanche, des retards s'observent pour les technologies de traitement et de fabrication, puis de manutention et de gestion logistique.

Graphique 106. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication de machines utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes (2017-2021)[211]



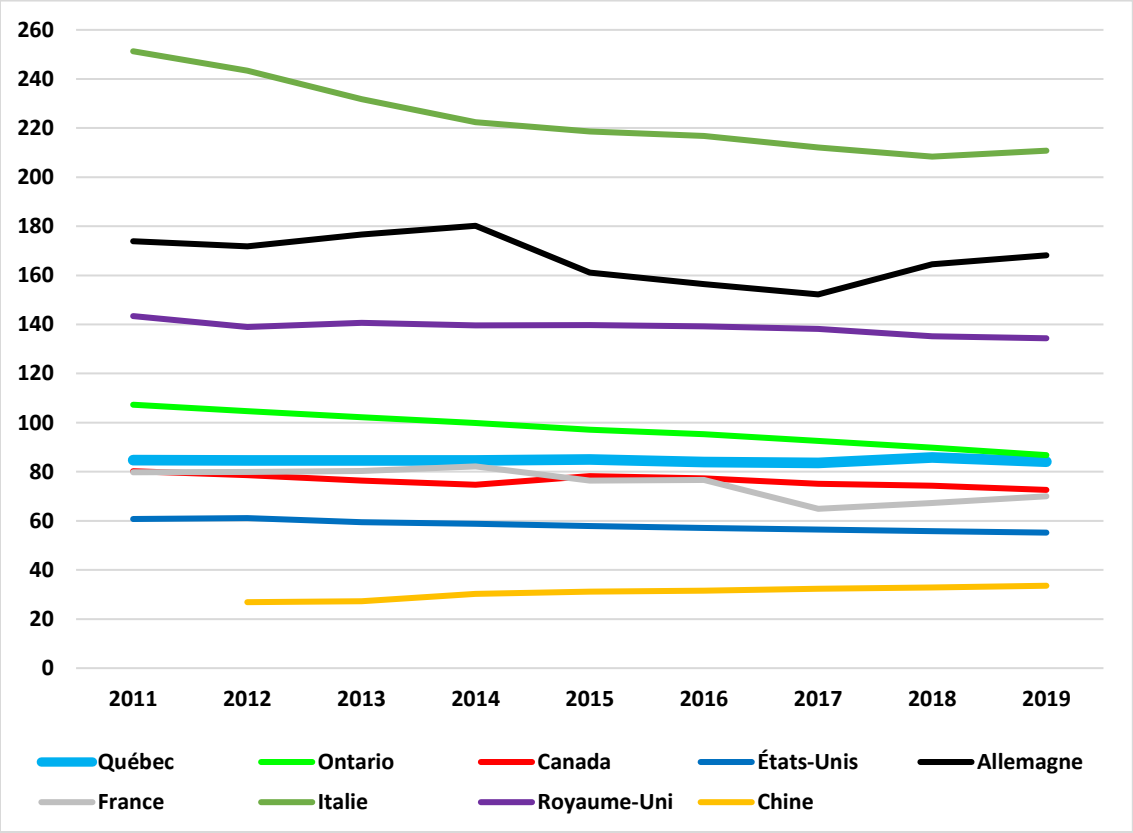
5.4. Les secteurs de l'équipement électronique et électrique

5.4.1. Caractéristiques économiques comparées

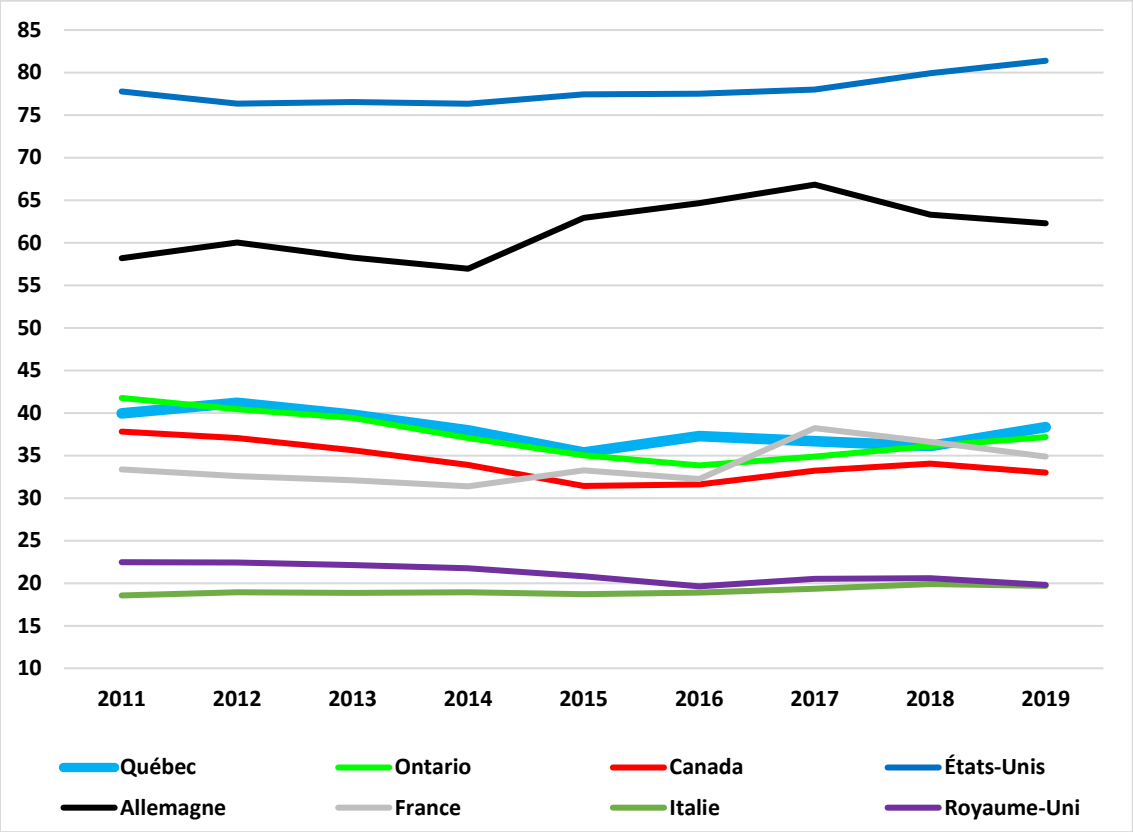
➢ En termes de densité d'entreprises dans les secteur de l'électronique et de l'électrique, le Québec se retrouve en milieu de peloton à l'échelle des économies recensées : à environ 84 entreprises par million d'habitants, le Québec se situe pour ces secteurs à peu près au même niveau de densité que l'Ontario (87) et légèrement au-dessus de la moyenne canadienne (73). La densité d'entreprises québécoise dans ces secteurs surpasse également celles de la France (70), des États-Unis (55) et de la Chine (34), ces deux derniers pays étant le domicile de très grandes entreprises dans le secteur de l'électronique, notamment.

➢ En devant de peloton pour la densité d'entreprises dans les secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique, on retrouve toutefois en date de 2019 le Royaume-Uni (134 entreprises par million d'habitants), l'Allemagne (168) et encore une fois, l'Italie (211) qui compte visiblement dans ces secteurs un grand nombre de plus petites entreprises mais dont la densité est en net recul depuis le début des années 2010. Partout ailleurs y compris au Québec, cette densité d'entreprises a été pour ces secteurs relativement stable au cours de la décennie 2010, avec de légères augmentations du côté de la Chine et un déclin un peu plus marqué du côté de l'Ontario.

Graphique 107. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteurs de l'équipement électronique et électrique[212]



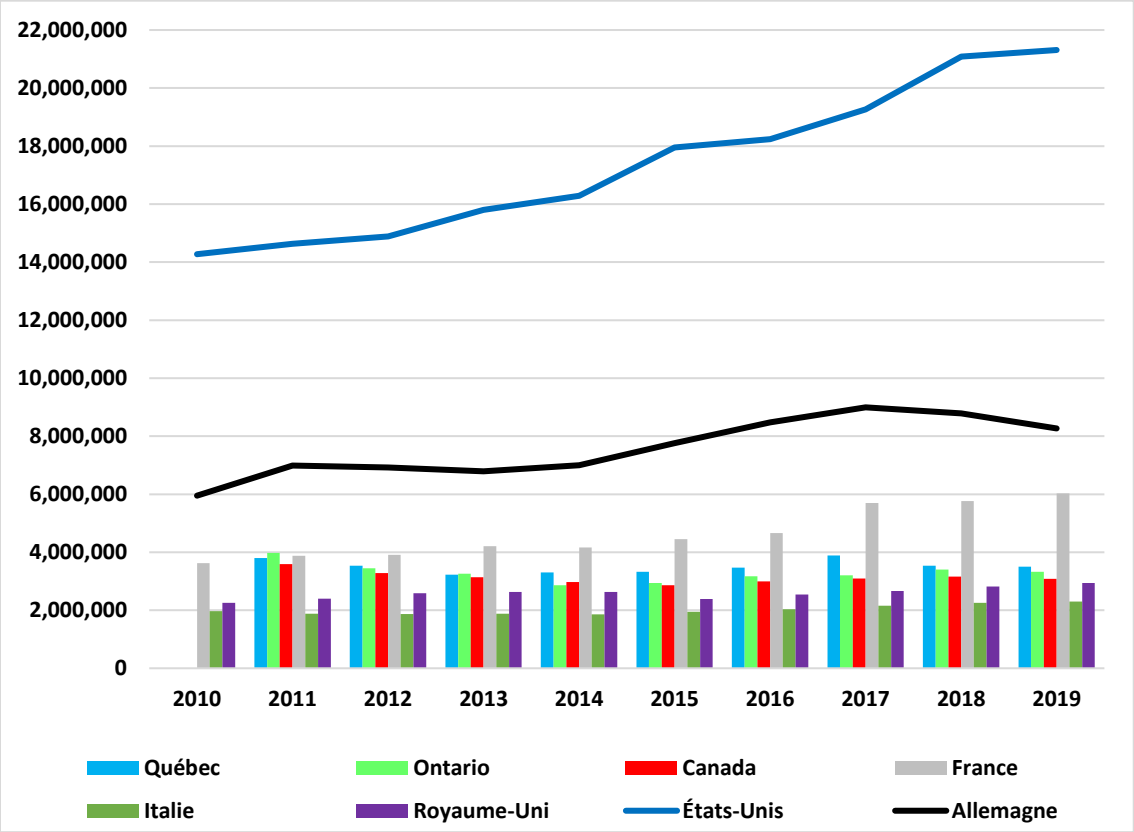
Graphique 108. Nombre d'emplois par entreprise, secteurs de l'équipement électronique et électrique[213]



➢ Le Québec, tout comme l'Ontario et le Canada, sont à l'échelle des pays recensés en milieu de peloton pour ce qui est de la taille moyenne de leurs entreprises dans les secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique. À 38 employés par entreprise en moyenne en date de 2019, le Québec surpasse très légèrement l'Ontario (37) et le Canada (33) mais également la France (35) et, de loin, le Royaume-Uni et l'Italie (20) qui ont dans ces secteurs un bassin de très petites entreprises.

➢ À l'autre bout du spectre, l'Allemagne et les États-Unis on clairement les plus grandes entreprises dans ces secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique, à respectivement 62 et 81 employés par entreprise en moyenne en date de 2019. L'Allemagne se démarque toutefois des États-Unis en ce que, malgré une taille moyenne élevée de ses entreprises dans ces secteurs, elle fait aussi montre d'une densité élevée d'entreprises. Cela témoigne de la force et de l'importance, quelque peu méconnues et sous-estimées, de ces secteurs en Allemagne. Il n'a malheureusement pas été possible d'obtenir des données fiables pour la Chine, mais on peut également présumer d'une taille moyenne élevée de ses entreprises dans ces secteurs.

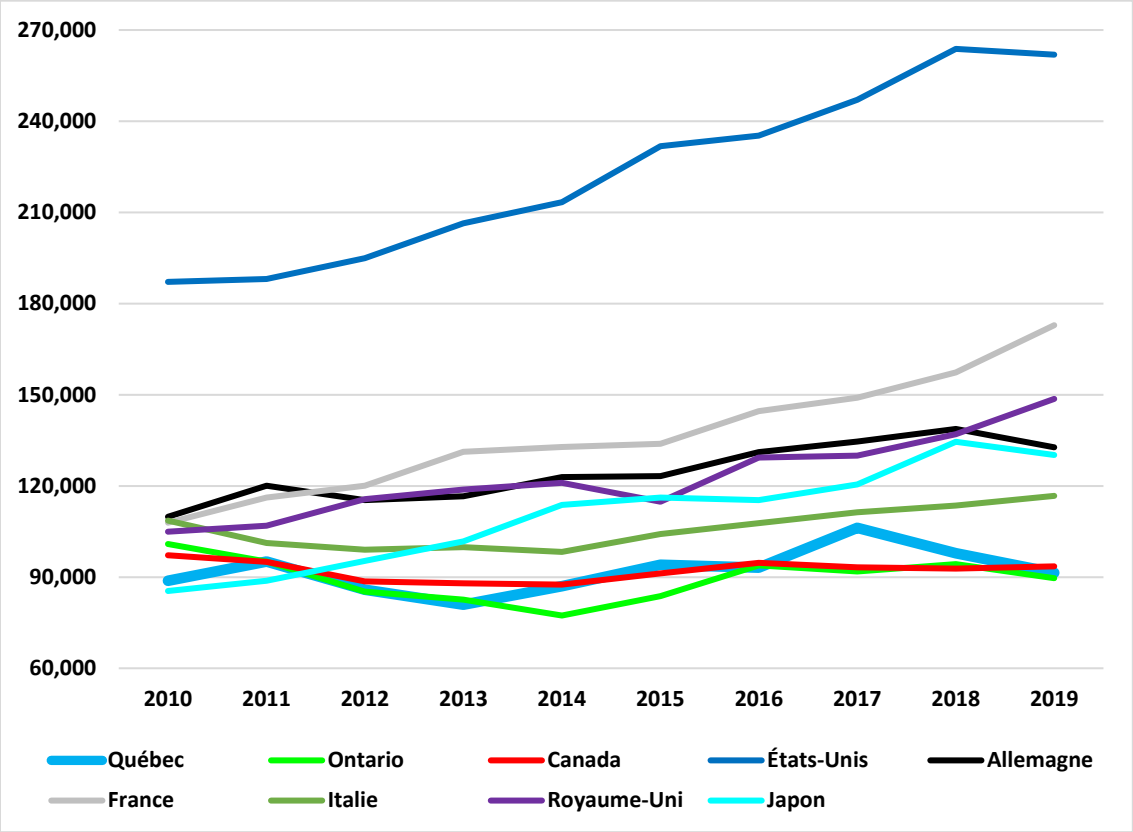
Graphique 109. PIB par entreprise, secteurs de l'équipement électronique et électrique ($ US constants de 2015)[214]



➢ Les États-Unis sont, de loin et sans surprise considérant la taille moyenne importante de leurs entreprises dans ces secteurs, le pays dont la production par entreprise des secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique est les plus élevée. Cette production moyenne par entreprise américaine est d'ailleurs en forte croissance, étant passée d'un peu plus de 14 millions $US en 2010 à plus de 21 millions $US en 2019. La plus proche concurrente des États-Unis à cet égard est l'Allemagne (nous n'avons pas pu obtenir de données précises pour la Chine), qui suit cependant de loin avec une production moyenne par entreprise de 8,3 millions $US dans ces secteurs.

➢ Pour ce qui est de la production moyenne de ses entreprises des secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique, le Québec est dans la fourchette médiane à l'échelle des pays recensés : à environ 3,5 millions $US de PIB par entreprise en 2019, moyenne à peu près stable depuis le début des années 2010, le Québec surpassait ainsi légèrement l'Ontario (3,3 millions $US) et le Canada (3,1 millions $US), mais aussi le Royaume-Uni (3 millions $US) et l'Italie (2,3 millions $US). La production moyenne par entreprise de le France (6 millions $US) demeurait toutefois largement supérieure à celle du Québec pour ces secteurs, tout comme celle de l'Allemagne et des États-Unis.

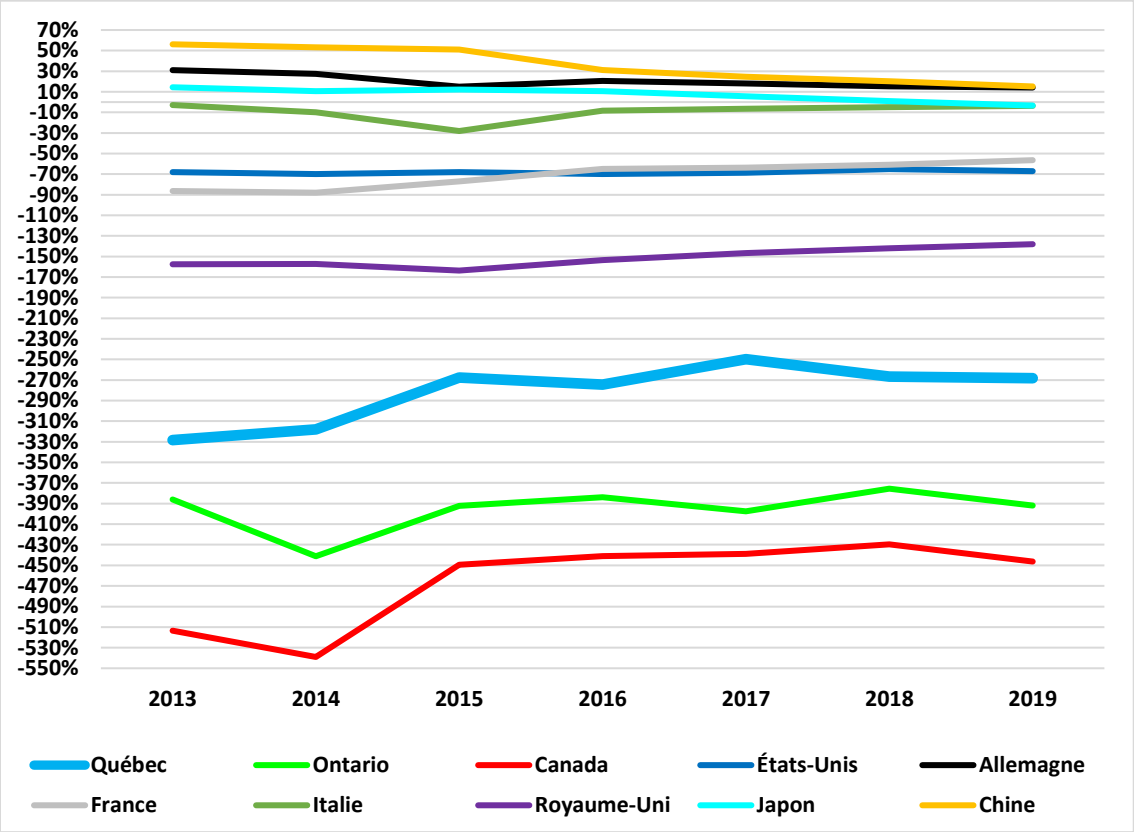
Graphique 110. PIB par emploi, secteurs de l'équipement électronique et électrique ($ US constants de 2015)[215]



➢ Sans trop de surprise, on note que les États-Unis sont de très loin, parmi les économies recensées, les plus productifs dans le secteur de l'électronique et de l'équipement électrique; à plus de 260 000 $US par emploi, la productivité du travail y atteignait en 2019 près de 100 000 $US de plus par emploi qu'en France, plus proche poursuivante à 173 000 $US par emploi. Aux États-Unis comme en France, d'ailleurs, la productivité du travail dans ces secteurs a été en forte croissance tout au long des années 2010, passant par exemple de 187 000 $US à 260 000 $US de PIB par emploi aux États-Unis entre 2010 et 2019.

➢ En termes de productivité du travail dans les secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique, le Québec demeurait en 2019, à plus de 91 000 $US par emploi, au niveau des moyennes canadienne (93 500 $US) et ontarienne (89 500 $US). Toutefois, cette productivité a stagné durant les années 2010 et plaçait le Québec, en 2019, à l'avant dernier rang (devant l'Ontario) parmi les économies recensées, derrière l'Italie (117 000 $US par emploi), le Japon (130 000 $US), l'Allemagne (133 000 $US), le Royaume-Uni (149 000 $US), la France et les États-Unis. Malgré ses avantages comparatifs dans le domaine de l'équipement électrique, le Québec n'est donc clairement pas particulièrement compétitif dans ces secteurs.

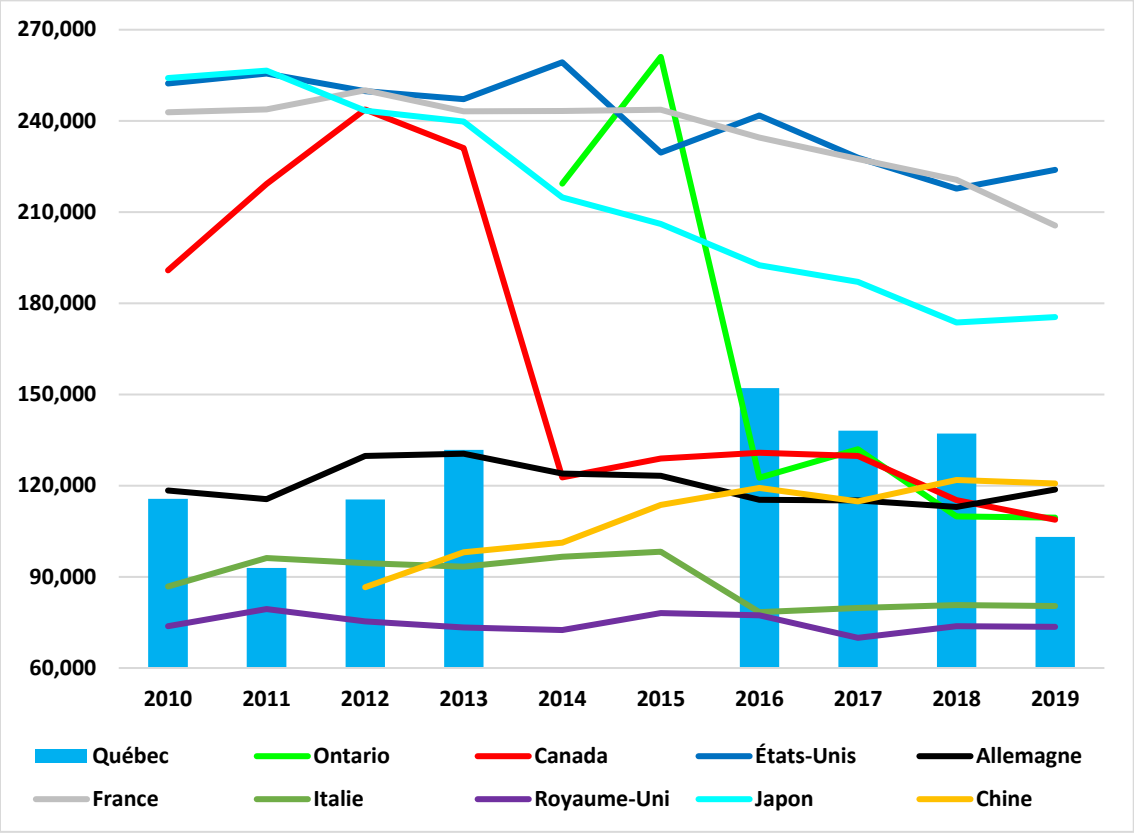
Graphique 111. Valeur de la balance commerciale du secteur de l'équipement électronique et électrique en % du PIB du secteur de l'équipement électronique et électrique[216]



➢ Parmi les économies recensées, seulement deux pays conservaient en date de 2019, dans les secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique, un solde commercial positif : il s'agit sans surprise de la Chine, dont le surplus équivalait alors à environ 15% du PIB de ces secteurs, mais aussi de l'Allemagne, qui jouissait encore d'un surplus représentant 14% du PIB de ces secteurs. Dans les deux cas cependant, ces surplus ont significativement reculé, en termes relatifs, depuis le début des années 2010 : encore en 2013, ils atteignaient plus de 55% du PIB des secteurs électronique et de l'équipement électrique en Chine, puis plus de 30% en Allemagne.

➢ Avec un déficit commercial correspondant à près de 270% du PIB de ses secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique, le Québec était encore en 2019, mais des progrès notables depuis le début des années 2010, parmi les juridictions les plus déficitaires de notre échantillon. Seuls l'Ontario et le Canada faisaient pire, avec des déficits respectifs correspondant plus de 390% et à près de 450% de leur PIB dans ces secteurs. Le Québec est ainsi un très grand importateur net dans ces secteurs, mais malgré des déficits commerciaux moins lourds, on peut en dire autant du Royaume-Uni, des États-Unis, de la France et dans une moindre mesure, de l'Italie et du Japon qui y atteignent pratiquement l'équilibre.

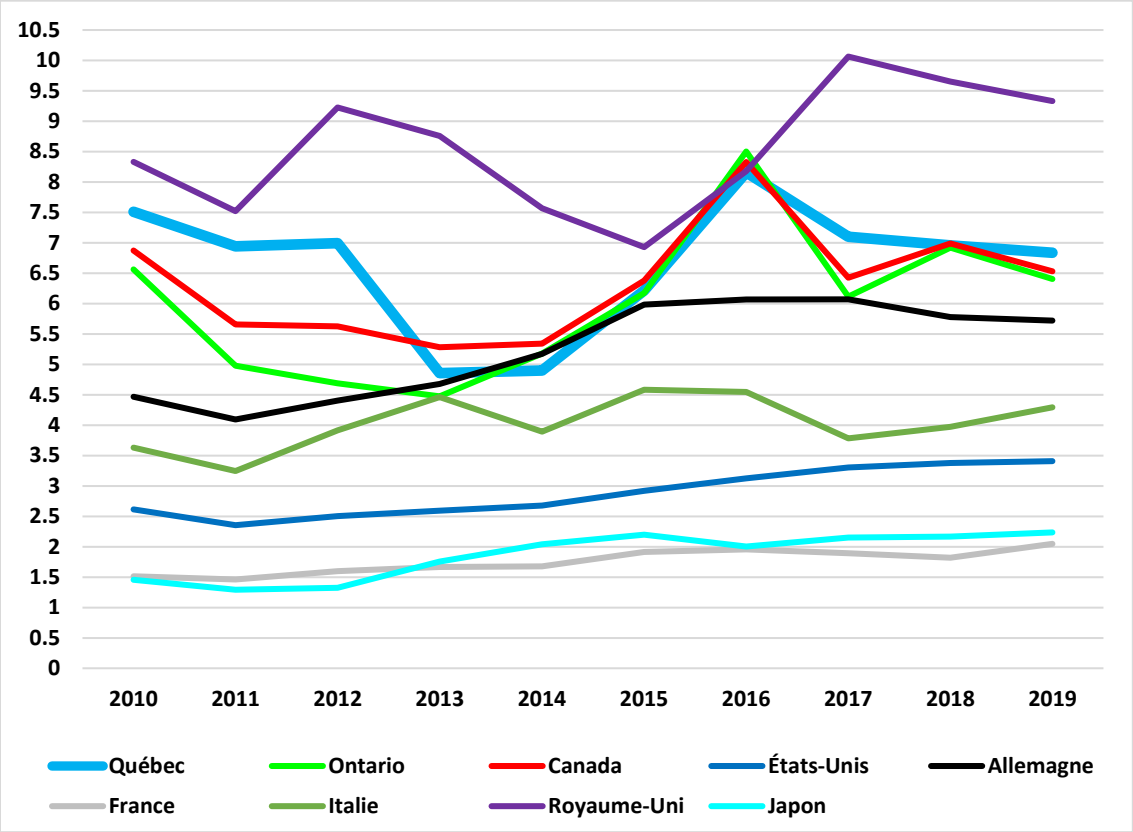
Graphique 112. Dépenses en R&D des secteurs de l'équipement électronique et électrique pour chaque million $ de PIB des secteurs de l'équipement électronique et électrique ($ US constants de 2015)[217]



➢ De manière générale depuis le début des années 2010, malgré des fluctuations annuelles assez importantes, le Québec se situe en milieu de peloton à l'échelle des pays recensés pour ce qui est du niveau des dépenses en R&D effectuées par ses secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique. Ces dépenses ont toutefois connu un recul notable au cours des dernières années de la décennie 2010, pour s'établir à environ 103 000 $US par million de $ de PIB en 2019; cela plaçait le Québec, dans ces secteurs, sous les niveaux de l'Ontario (109 000 $US) et du Canada (108 000 $US), qui semblent pour leur part avoir connu un fort déclin à cet égard depuis le début des années 2010, mais à l'inverse loin devant ceux de l'Italie (80 000 $US) et du Royaume-Uni (73 500 $US).

➢ Plus loin devant le Québec en matière de dépenses de R&D dans les secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique, on retrouve notamment l'Allemagne (119 000 $US par millions $ de PIB), la Chine (121 000 $US), qui a connu une forte croissance relative de ses dépenses de R&D dans ces secteurs depuis le début des années 2010, puis surtout le Japon (175 000 $US), qui a connu à l'inverse un fort déclin à cet égard depuis 2010, la France (206 000 $US), puis les États-Unis (224 000 $US).

Graphique 113. PIB pour chaque dollar de formation brute de capital fixe, secteurs de l'équipement électronique et électrique ($ US constants de 2015)[218]



➢ Si la productivité du travail québécoise est, dans les secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique, en queue de peloton parmi les économies recensées, sa productivité du capital dans ces secteurs est à l'inverse l'une des plus élevées. Malgré de fortes fluctuations annuelles et une stagnation globale depuis 2010, la productivité du capital québécoise atteignait dans ces secteurs en 2019 près de 7 $US de PIB par dollar d'investissement en capital fixe, n'étant surpassée que par le Royaume-Uni à plus de 9$. Le Québec surpasse également tout juste les moyennes canadienne et ontarienne à cet égard, situées respectivement à 6,4 $US et 6,4 $US en date de 2019.

➢ Malgré de légères progressions au cours de la décennies 2010, la productivité du capital des secteurs de l'électronique et de l'équipement électrique allemands (5,7 $US), italiens (4,3 $US), américains (3,4 $US), japonais (2,2 $US) et français (2,1 $US) était également inférieure à celle des mêmes secteurs québécois en date de 2019, ce qui indique probablement des niveaux d'investissements en capital fixe très largement supérieurs à ceux du Québec qui n'est pas, contrairement notamment à l'Allemagne, aux États-Unis ou au Japon, un fabricant important de matériel électronique et électrique et ne nécessite donc pas autant d'immobilisations dans ces secteurs.

5.4.2. Maturité technologique comparée

Tableau 20. Stock robotique du secteur de l'équipement électronique et électrique (ISIC 26-27, 2020)[219]

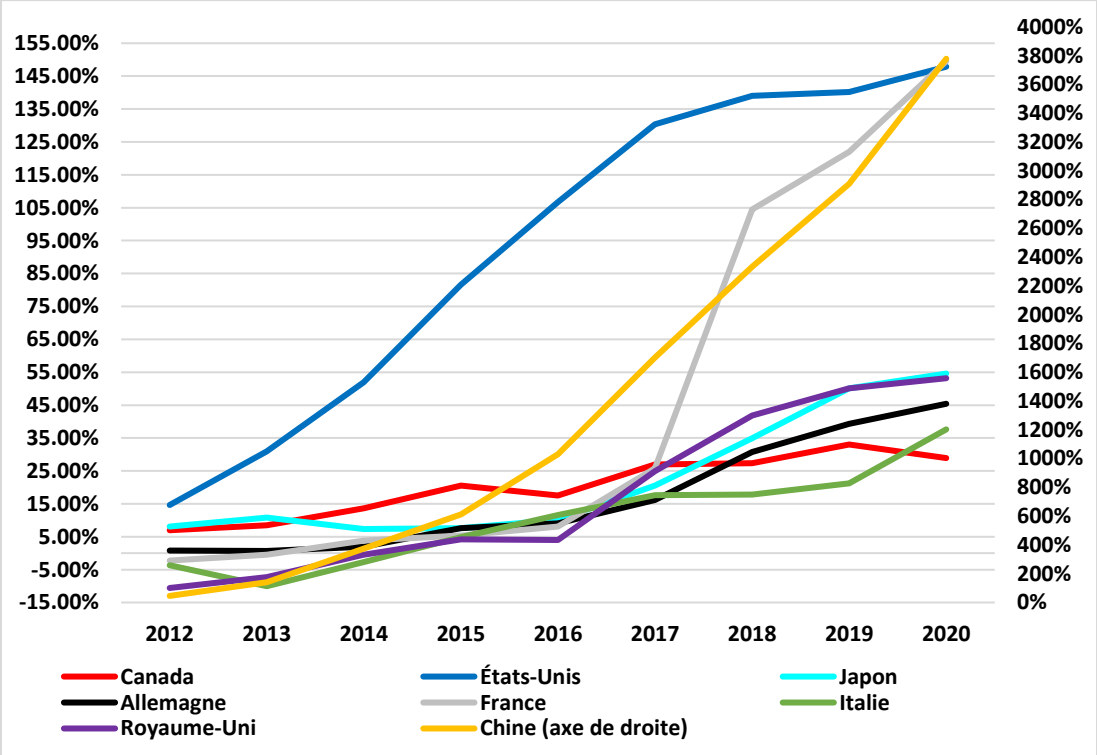
Québec	Canada	États-Unis	Royaume-Uni	France	All	Italie	Japon	Chine
309	1035	50470	651	2106	11384	2096	125287	277852

En 2020, pour la première fois depuis que ces données sont compilées, les installations de robots industriels des secteurs de l'électronique et du matériel électrique ont, à l'échelle mondiale, surpassé en nombre (109 000) les installations de robots du secteur de l'automobile (80 000). Évidemment, cela a été en partie dû à la forte contraction de l'activité dans ce dernier secteur en raison des fermetures d'usines liées à la crise sanitaire, mais cela ne change rien au fait que le créneau de l'électronique/électrique soit devenu au cours des dernières années l'un des plus robotisés parmi les industries manufacturières, et ce dans toutes les économies avancées recensées. La multiplication des applications domestiques et l'intégration de nouvelles technologies à certains équipements de consommation courante (électroménagers, systèmes d'éclairage sophistiqués, appareils connectés, panneaux solaires, etc.), de même que la massification de la consommation des produits électroniques, en particulier dans les pays émergents mais également dans les économies avancées, depuis le milieu des années 2000 (ordinateurs personnels, téléphones cellulaires et tablettes, jeux vidéos et systèmes audiovisuels, etc.) ont évidemment fait exploser la demande mondiale dans ces secteurs et, conséquemment, engendré de fortes pressions sur les taux de productivité qui expliquent en partie leur robotisation croissante[220].

Les secteurs de l'électronique et du matériel électrique sont également, par ailleurs, d'importants fournisseurs pour une foule d'industries de pointe, telles que notamment l'automobile et la machinerie industrielle, puis seront évidemment eux-mêmes fortement mobilisés afin d'accélérer la robotisation et la modernisation technologique de l'industrie manufacturière, tout comme pour assurer la transition vers la 5G. La forte croissance de ces secteurs de l'électronique et du matériel électrique est donc assurée à court et moyen termes, et les pressions en faveur de leur propre robotisation et modernisation demeureront intenses. Dans le secteur de l'électronique, en particulier, la production de haute-précision, la miniaturisation, les hauts standards de qualité et l'impératif de productivité (dans ce secteur, les marges bénéficiaires sont généralement plutôt basses) nécessitent tous une robotisation croissante. Le développement de nouvelles technologies telles que la robotique collaborative, l'intelligence artificielle et la vision robotique permettront en outre d'en développer des applications de plus en plus nombreuses et efficaces, ce qui aura pour effet d'accélérer la modernisation du secteur. Considérant toutes ces tendances lourdes, il n'est donc pas surprenant de constater que, règle générale mais en particulier chez les grandes puissances de l'électronique que sont les États-Unis et la Chine, le taux de croissance du stock robotique dans ce secteur a été important au cours des années 2010.

Entre 2011 et 2020 en effet, le stock robotique des secteurs de l'équipement électronique et électrique chinois a connu une croissance de près de 3800%, une véritable course à la modernisation. Les délocalisations d'entreprises technologiques occidentales vers la Chine et l'afflux d'investissements étrangers y ont évidemment été pour beaucoup, mais comme chacun sait, l'industrie chinoise elle-même s'est également développée très rapidement au cours de la dernière décennies, sous l'effet notamment des politiques agressives du gouvernement (pensons entre autres aux stratégies *Made in China 2015* et *2025*) pour donner naissance à des géants comme *Huawei* et bien d'autres. Loin derrière, les secteurs américains de l'électronique et du matériel électrique ont également connu une très forte croissance de 148% de leur stock robotique au cours cette période, talonnés à cet égard par leurs concurrents français, dont le stock robotique s'est aussi apprécié particulièrement rapidement dans la seconde moitié des années 2010, également en partie porté par les politiques de « l'État stratège » français en matière de modernisation 3.0. mais également, de relocalisation et d'autonomie industrielle dans plusieurs secteurs stratégiques (en France, une forte demande pour ces équipements émergent en particulier des secteurs du nucléaire, de l'aérospatiale et du militaire).

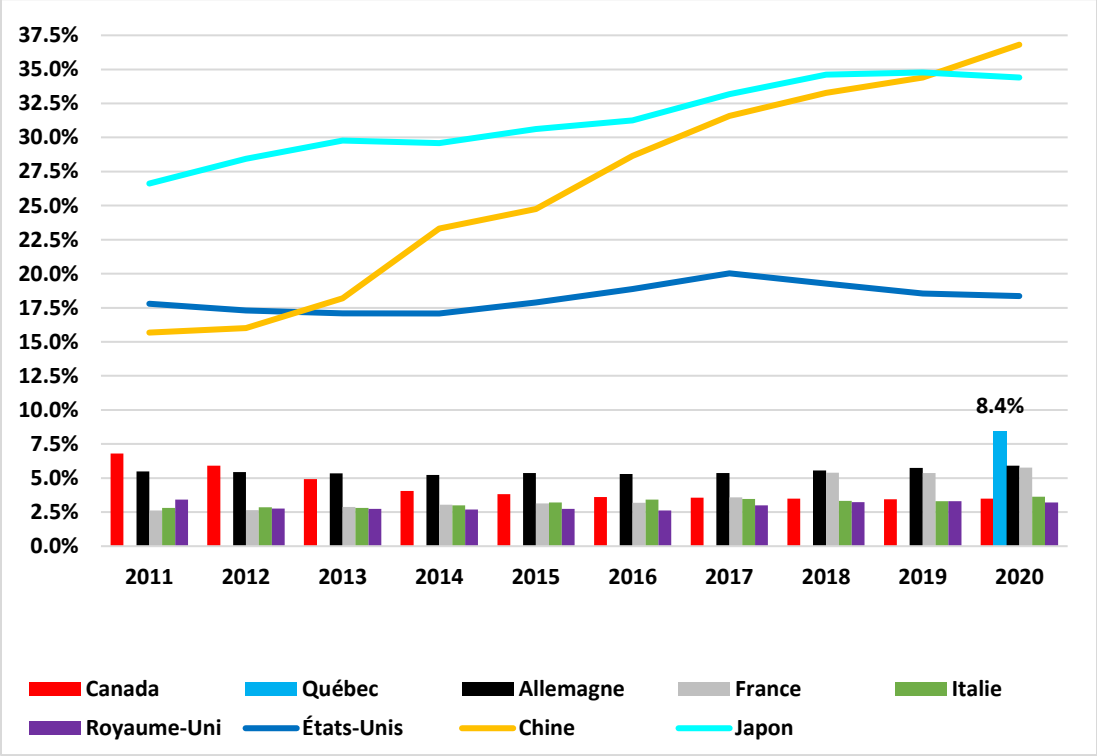
Graphique 114. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, secteurs de l'équipement électrique/électronique (ISIC 26-27) (année de référence = 2011)[221]



La croissance du stock robotique d'une autre très grande puissance de l'électronique, le Japon, s'est classée troisième mais est demeurée, à 55%, très largement en-deçà des niveaux atteints en Chine, aux États-Unis ou en France. Comme nous le verrons, cela s'explique notamment par le fait que la

robotisation des secteurs japonais de l'équipement électronique/électrique ait déjà été, au début des années 2010, très en avance sur celle de leurs concurrents, y compris américains et chinois. *À entre 29% (Canada) et 53% (Royaume-Uni) de croissance, les stocks robotiques de ces secteurs chez les autres pays recensés ont tout de même progressé de manière non-négligeable, mais ces pays n'étant pas de grandes puissances de l'électronique comparables aux États-Unis ou à la Chine, il est normal que ces progrès n'aient pas été aussi fulgurants*. On peut d'ailleurs se faire une meilleure idée de l'importance relative de ces secteurs, selon les pays, en comparant également le poids de leur stock de robots en proportion du stock manufacturier total. À cet égard également, sans surprise, les trois grandes puissances de l'électronique que sont la Chine, le Japon et les États-Unis sont loin devant, le stock robotique de leurs secteurs de l'équipement électronique/électrique respectifs équivalant dans l'ordre, en date de 2020, à 37%, 34% et 18% du stock global de leur industrie manufacturière.

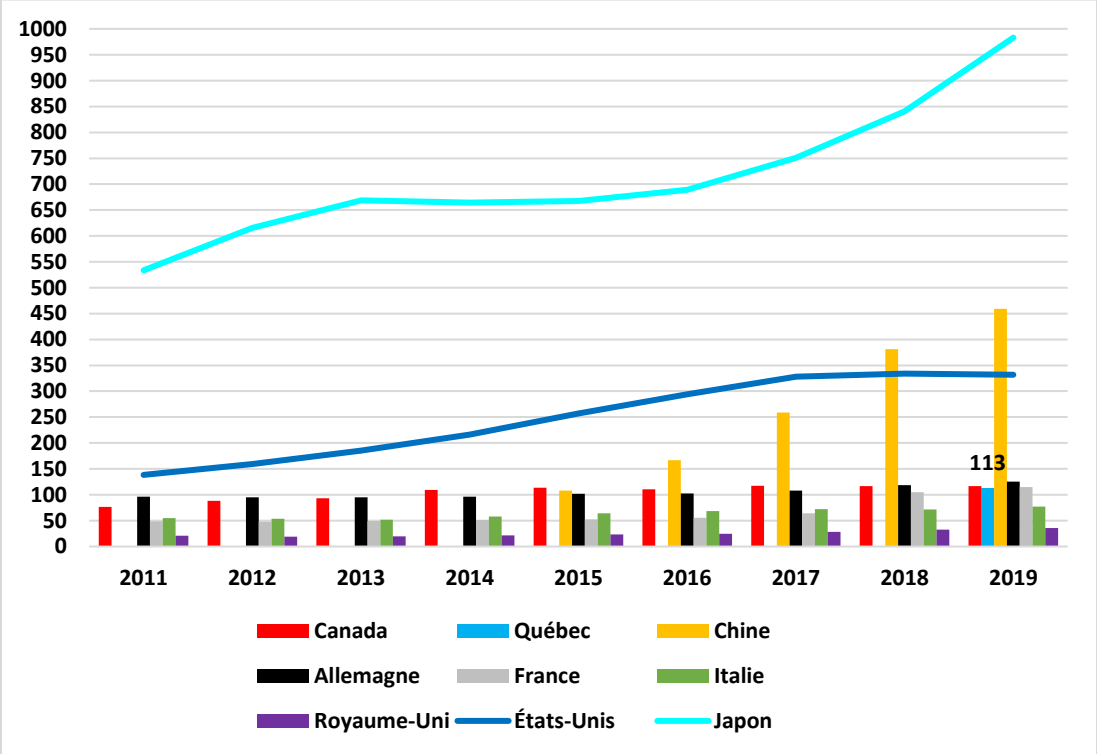
Graphique 115. Stock de robots industriels opérationnels des secteurs de l'équipement électrique/électronique (ISIC 26-27) en % du stock total du secteur manufacturier, par pays[222]



Dans toutes les autres économies avancées recensées, cette proportion est évidemment beaucoup plus basse puisque le secteur de l'électronique, notamment, y est beaucoup plus modeste. L'Allemagne et la France se démarquent néanmoins parmi ce groupe, alors que le poids robotique de leurs créneaux de l'équipement électronique et électrique atteignait en date de 2020 près de 6% de leur stock robotique manufacturier global, une proportion en forte progression dans le cas de la France. *Dans le cas du Canada, on observe à l'inverse un déclin relatif à cet égard depuis le début*

des années 2010, le poids robotique de ces secteurs étant passé de près de 7% à 3,5% (2020) du stock manufacturier total, pour rejoindre les niveaux italien et britannique. Selon nos estimations, cette proportion atteignait au Québec, en date de 2020, plus de 8%, bien au-dessus des 3,5% canadiens mais également devant les pays européens. Ici encore, cet écart s'explique en partie par l'effet déformant engendré par le poids robotique relatif des industries automobiles canadienne, allemande, française et dans une moindre mesure, britannique et italienne mais cela n'enlève rien au fait que les industries québécoises de l'électronique et en particulier, de l'équipement électrique soient en elles-mêmes technologiquement matures, à des niveaux comparables et dans certains cas même, supérieurs à ce qu'on observe ailleurs au Canada ou dans le monde.

Graphique 116. Densité robotique des secteurs de l'équipement électrique/électronique (ISIC 26-27) (robots opérationnels/10,000 employés)[223]



Sur le plan de la densité robotique par exemple, nos calculs indiquent que les industries québécoises de l'équipement électronique et électrique étaient, en date de 2019, à peu près au même niveau que leurs concurrentes canadiennes (113 robots/10,000 employés contre 117, respectivement) mais également, loin devant le Royaume-Uni (36/10,000) et l'Italie (77) puis au pair ou presque avec la France (115) ou l'Allemagne (125). Ces industries sont donc, au Québec, pratiquement autant sinon, plus robotisées qu'elles ne le sont partout ailleurs dans les pays qui ne sont pas de grandes puissances de l'électronique. En revanche, le Québec comme tous ces pays accusent un retard de plus en plus important, pour la densité robotique de leurs secteurs de l'équipement électronique et électrique, face aux géants que sont la Chine (460 robots/10,000 employés), les États-Unis (332/10,000) et en particulier, le Japon (983/10,000), dont la densité

respective pour ces créneaux est d'ailleurs en forte croissance depuis le début des années 2010. Le cas du Japon est d'ailleurs ici particulièrement intéressant, puisque cette performance impressionnante n'est pas que l'héritage de la tradition d'innovation technologique qu'on lui connait mais reflète également les efforts soutenus de ce pays en matière de production et d'adoption des technologies de rupture (voir notamment le cas du domaine des nanotechnologies, présenté ci-bas).

Étude de cas #11 : Tsukuba Innovation Arena (Tsukuba, Ibaraki, Japon)

Pôle d'innovation en application des nanotechnologies aux procédés manufacturiers (R&D collaborative, laboratoires, transfert technologique et commercialisation, etc.).

Création : 2009 (*Tsukuba Innovation Arena for Nanotechnology*); refonte en 2016 (TIAnano)

Le Japon est une superpuissance de l'électronique – pensons aux *Toshiba*, *Sony*, *Seiko*, *Panasonic*, *Nintendo*, *Nikon*, *Mitsubishi*, *Hitachi*, *Canon* et autres. Le Japon est aussi un leader dans l'industrie de la robotique industrielle : il en concentre aujourd'hui environ 45% de la production mondiale (près de 175 000 robots produits en 2020 et plus de 135 000 exportés, sans compter la production extraterritoriale des multinationales japonaises telles que *Fanuc*, *Epson*, *Kawasaki*, *Yaskawa*, ou *Daihen*)[224].

Ce qui est moins connu est que le Japon soit devenu, au cours des années 2000, une puissance mondiale des *nanotechnologies* et de leurs applications industrielles, que ce soit dans les créneaux de la microélectronique et des semi-conducteurs, de l'automobile, de l'aérospatiale, des matériaux avancés, de l'énergie atomique ou de la chimie et des biotechnologies[225]. Une véritable grappe des nanotechnologies s'est ainsi développée autour d'entreprises telles que *Fujifilm* (optique-photonique), *Fujitsu* (semi-conducteurs), *Hitachi* (microscopes électroniques), *Hosokawa Micron* (poudres industrielles), *JEOL* (instrumentation scientifique), *Nissan Chemical* (chimie), *Nanocarrier* (biotechnologies), *Zeon* (nanotubes carbone) et bien d'autres.

Parmi les raisons de ce succès, le travail de recherche, de concertation, de transfert et d'intégration technologiques effectué par le biais du pôle d'innovation Tsukuba, en périphérie nord-est de Tokyo, a été particulièrement structurant. Regroupant l'Institut national des sciences et technologies industrielles avancées (AIST), trois universités (Tsukuba, Tokyo et Tohoku), l'Organisation de recherche avec des accélérateurs de haute-énergie (KEK) et l'Institut national de science des matériaux (NIMS), le pôle Tsukuba permet de rassembler les ressources des secteurs gouvernemental, industriel et de la recherche

dans un but commun d'accélération de la commercialisation des nouvelles technologies, mais aussi de formation des scientifiques et ingénieurs fraîchement diplômés (Tsukuba est surnomée « l'École supérieure des nanotechnologies »).

Les organisations partenaires du pôle Tsukuba mettent à disposition des chercheurs et des entreprises une quinzaine de laboratoires et de centres d'essai, de même que plus de 500 équipements spécialisés, de la salle blanche à l'accélérateur de particules. Au cours des dernières années, les activités du pôle ont été concentrées autour de 7 créneaux principaux :

- **la nanoélectronique** (salle blanche de 3000m$^{2;}$ cartes mémoires; semi-conducteurs; supraconducteurs; intégration à très grande échelle; photonique sur silicium, etc.)

- **l'électronique de puissance** (salles blanches; semi-conducteurs ultrafins au carbure de silicium; consortium *Applied Superconductivity Constellations of Tsukuba*, etc.)

- **les microsystèmes électromécaniques** (fonderie et ligne de montage pour semi-conducteurs à large diamètre; capteurs de pression et de déformation à haute-sensibilité pour canalisations et infrastructures; capteurs de puissance alimentés par vibration; technologies de perception sensorielle pour robotique; véhicules autonomes et intelligence artificielle, etc.)

- **les nanotechnologies vertes** (batteries rechargeables à l'état solide et lithium-air; cellules photovoltaïques à pérovskite; technologies de conversion d'énergie par l'étude des dynamiques atomes/électrons; nano-surfaces/nano-interfaces, etc.)

- **les nanotubes de carbone** (matériaux avancés et composites résistants à la chaleur et/ou supraconducteurs à base de nanotubes carbones; usine de production en série par application de la méthode de super-croissance; technologies de moulage par injection ou de mélange biaxial; mesure et étude des effets des nanotubes de carbone en suspension dans l'air; *Carbon Nanotube Alliance*, etc.)

- **les instruments de mesure quantique** (accélérateurs de particules compacts/portables; lasers et rayons-X; détecteurs/capteurs haute-précision et haute-résolution, etc.)

- **les biotechnologies** (biocarburants et applications médicales à base de biomasse d'algues; médecine diagnostique, régénérative et oncologique à base de biopuces de lectines; système de navigation en temps réel pour la chirurgie laparoscopique de l'hépatectomie; système d'évaluation cognitive par ondes cérébrales comme biomarqueurs; contrôle de haute précision de molécules de protéines fonctionnelles, etc.)

Dans tous ces secteurs de pointe, des collaborations visant le transfert et la commercialisation des technologies ont été nouées entre le milieu de la recherche et les entreprises[226]. Des centaines d'applications pour brevets ont été déposées depuis la refonte du pôle Tsukuba en 2016, et des dizaines de procédés et de produits issus des collaborations du pôle ont été commercialisés[227]. Entre autres exemples, mentionnons notamment[228] :

- la commercialisation du *MinimalFab*, machine intégrée et ultra-compacte de production automatisée de semi-conducteurs ne nécessitant aucune salle blanche; capacité de 20 à 30 unités produites par jour;

- l'incorporation d'*Algal Bio Co. Ltd.*, spin-off universitaire qui offre des services de R&D au secteur biopharmaceutique et vise la production industrielle et la commercialisation de caroténoïdes d'algues pour applications médicales et alimentaires;

- l'incorporation d'*AIO Core Co. Ltd*., spécialisée en optique-photonique au silicium, qui commercialise notamment des émetteurs/récepteurs optiques miniatures;

- la commercialisation de capteurs de force ultrafins triaxiaux par le biais de l'entreprise *Touchence Inc*., fabricant de senseurs tactiles pour les industries automobile, de la robotique, de la médecine, du jeu vidéo et de la réalité virtuelle

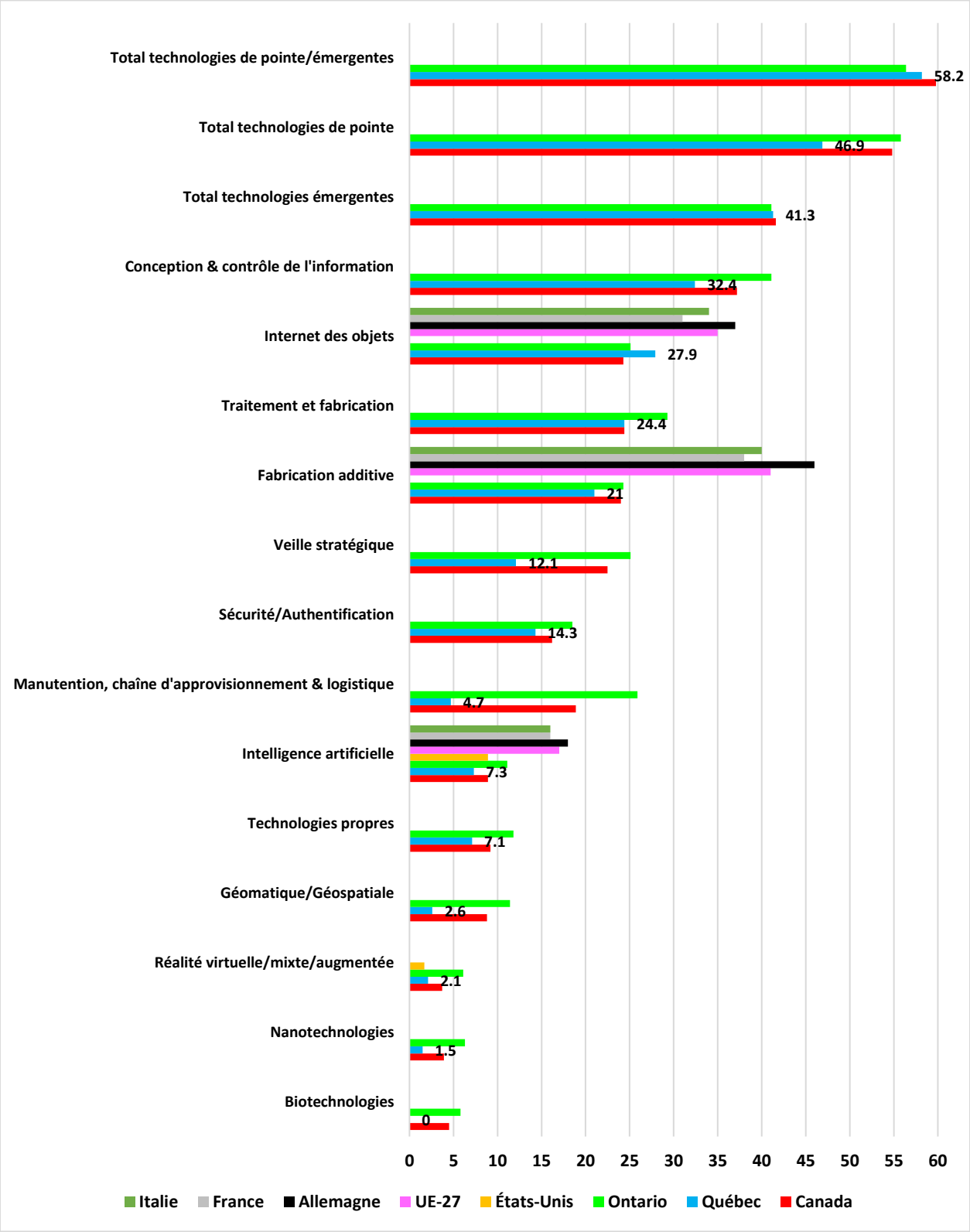
- la production industrielle de nanotubes de carbone par l'entreprise *Zeon Corporation* ainsi que la commercialisation de joints toriques ultra-résistants (*S-Goint*^{TM}) à base de nanotubes de carbone par l'entreprise *SunArrow Ltd*.

En date de 2022, 52 différents projets de R&D étaient actifs au pôle d'innovation Tsukuba[229] pour les 7 grands créneaux technologiques couverts.

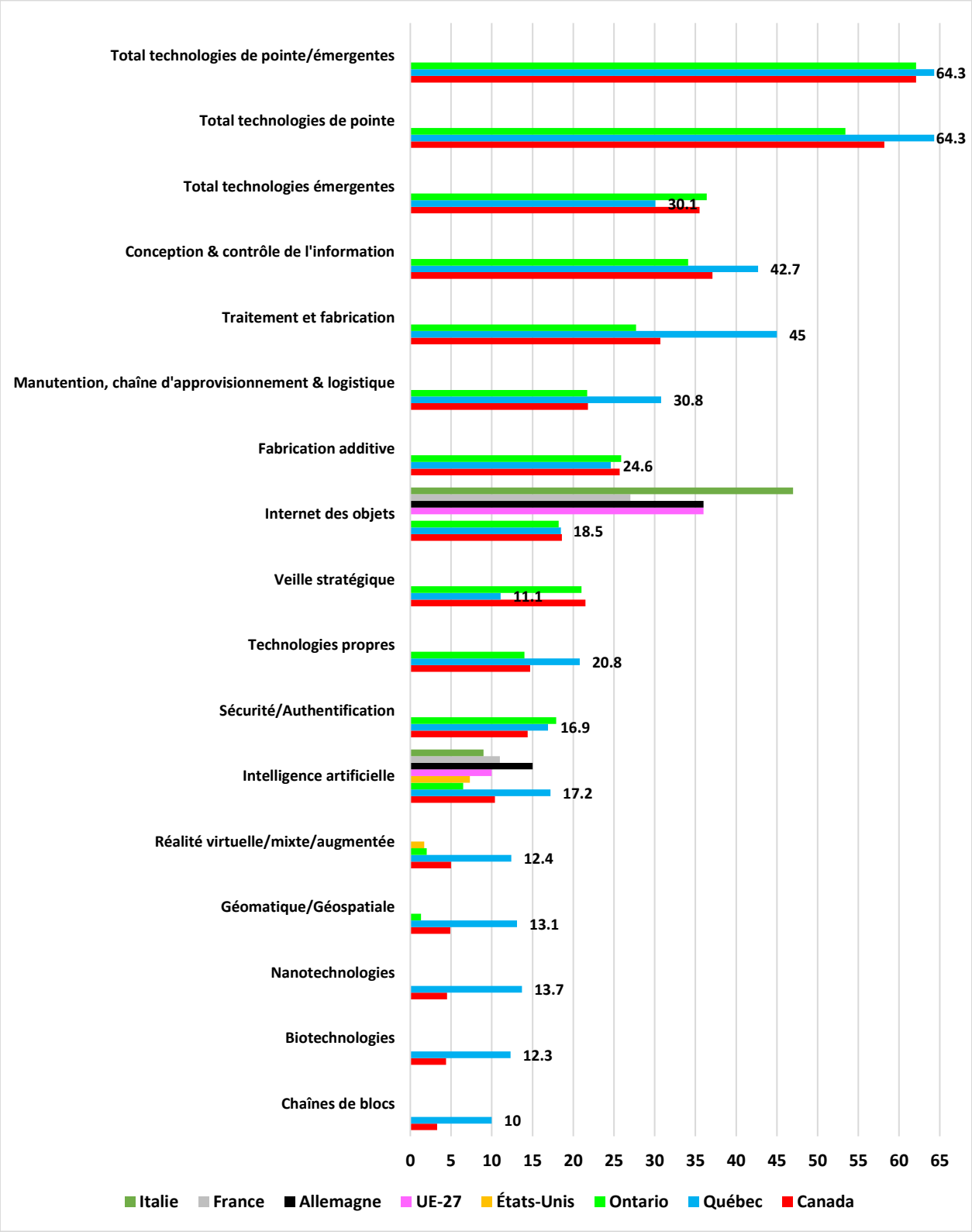
Le constat positif que nous permet de poser la densité robotique de ces secteurs québécois de l'électronique et du matériel électrique est d'ailleurs confirmé, bien que davantage dans le second cas que dans le premier, par les données sur leur adoption des technologies 3.0. et 4.0. Dans le secteur de l'électronique, les entreprises québécoises sont proportionnellement aussi nombreuses que leurs homologues ontariennes ou canadiennes à avoir adopté ces technologies. Néanmoins, on observe quelques retards, particulièrement à l'égard de l'Ontario dont l'industrie électronique et numérique semble plus mature et portée, notamment, par l'industrie automobile mais également par l'important secteur ontarien des technologies de l'information et des communications, structuré autour de l'axe Toronto-Kitchener et des universités McMaster (Hamilton), de Waterloo (Kitchener/Waterloo) et de Toronto. Les retards sur l'Ontario sont particulièrement marqués pour ce qui est de l'adoption des technologies de conception et de contrôle de l'information, de manutention et de gestion logistique, de traitement et de fabrication, de veille stratégique, de géomatique/géospatiale, des nano/biotechnologies, des technologies propres et dans une moindre mesure, de l'intelligence artificielle. Dans ce dernier domaine comme pour l'impression 3D, cependant, l'Ontario et le Québec accusent toujours des retards importants sur les pays européens.

Dans le créneau de l'équipement électrique, en revanche, la maturité technologique de l'industrie québécoise est, sans trop de surprise, clairement supérieure. Le degré de pénétration des technologies de traitement et de fabrication, de manutention et de gestion logistique, de réalité virtuelle, de géomatique/géospatiale, des chaînes de blocs, des nano/biotechnologies et des technologies propres y est en effet particulièrement élevée, y compris en comparaison de l'Ontario et/ou du Canada. En ce qui concerne l'utilisation de l'intelligence artificielle, il semble même que l'industrie québécoise de l'équipement électrique soit en avance sur ses concurrentes américaine et européennes. À l'inverse toutefois, un retard important semble persister face aux pays européens, tant au Québec qu'en Ontario ou au Canada en général, quant à l'utilisation des technologies d'Internet des objets. Dans l'ensemble, malgré quelques retards compréhensibles sur l'Ontario dans le domaine de l'électronique, il n'y a aucune raison de douter de la maturité robotique et technologique des créneaux québécois de l'équipement électronique et surtout, électrique.

Graphique 117. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication des produits informatiques et électroniques utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes (2017-2020)[230]



Graphique 118. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication de matériel, d'appareils et de composants électriques utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes (2017-2021)[231]



Chapitre 6. Le secteur des produits en plastique et caoutchouc

Faits saillants

- *La productivité du travail québécoise dans le secteur des produits du plastique et du caoutchouc a connu au cours des années 2010 une croissance notable : de moins de 75 000 $US par emploi en 2010, elle est passé à plus de 87 000 $US en 2019, positionnant néanmoins le Québec en avant dernière position parmi les économies recensées, devançant seulement le Royaume-Uni (79 000 $US).*

- *De manière générale au cours des années 2010, le Québec s'est situé dans la fourchette inférieure des juridictions recensées en matière de dépenses de R&D dans le secteur des produits du plastique et du caoutchouc. À un peu moins de 22 000 $US par million $ de PIB en 2019, les dépenses en R&D de ce secteur au Québec étaient supérieures à celle de l'Ontario (15 700 $US), du Royaume-Uni (16 000 $US) et du Canada (17 000 $US) mais assez largement inférieures, notamment, à celles de l'Italie (25 000 $US), des États-Unis (36 000 $US) ou de l'Allemagne (39 000 $US).*

- *En matière de productivité du capital, le Québec occupe également une position mitoyenne, parmi les économies recensées, dans le secteur des produits du plastique et du caoutchouc. Malgré quelques fluctuations, le niveau de productivité du capital québécois est demeuré dans ce secteur relativement stable entre 2010 et 2019, à un peu plus de 7,5 $US de PIB pour chaque dollar d'investissement en capital fixe. En date de 2019, le Québec faisait à cet égard aussi bien que l'Allemagne mais moins bien que le Royaume-Uni (9,8 $US), le Canada (10,5 $US) ou l'Ontario (13 $US)*

- *En France (47%) comme en Allemagne (59%), aux États-Unis (92%), au Canada (95%) et au Royaume-Uni (102%), la croissance du stock robotique de l'industrie de la plasturgie et des produits du caoutchouc a été, entre 2011 et 2020, fort importante. Dans le cas du Canada, cette croissance s'est toutefois surtout observée jusqu'en 2015, alors qu'un ralentissement des nouvelles installations s'est imposé durant la second moitié des années 2010.*

- *À l'exception de la Chine (21% à 5%) et du Japon (10% à 4%), qui ont vu le poids robotique relatif du secteur de la plasturgie et des produits du caoutchouc se rétracter, ce poids est demeuré ailleurs à peu près stable durant cette période : de 12% à 11% du stock manufacturier global en Italie, de 7% à 6% aux États-Unis, de 8% à 10% au Royaume-Uni, de 8% à 9% en Allemagne et de 3% à 4% au Canada. Dans le cas du Québec, nous estimons que le secteur des produits de plastique/caoutchouc représentait, en date de 2019, un peu*

plus de 7% du stock robotique global de l'industrie manufacturière, une proportion encore supérieure à celle observée au Canada, mais dans la moyenne à l'échelle des pays recensés.

- *À seulement 95 robots/10,000 employés selon nos estimations, la densité robotique du secteur québécois des produits en plastique/caoutchouc demeure relativement faible, inférieure à la densité moyenne canadienne pour ce secteur (116/10,000) et très largement inférieure aux niveaux atteints par la plupart des économies avancées, dont les États-Unis (208), la France (242), l'Italie (387) ou l'Allemagne (412).*

- *Le constat d'une robotisation comparativement faible de ce secteur semble renforcé par les données sur l'adoption des technologies de pointe/3.0. et émergentes/4.0., qui montrent que des retards plus ou moins importants subsistent au Québec. Les entreprises québécoises de ce secteur sont en effet moins nombreuses, proportionnellement, à avoir intégré des technologies de traitement et de fabrication (y compris la robotique), mais aussi les technologies de manutention et de gestion logistique, puis les technologies propres.*

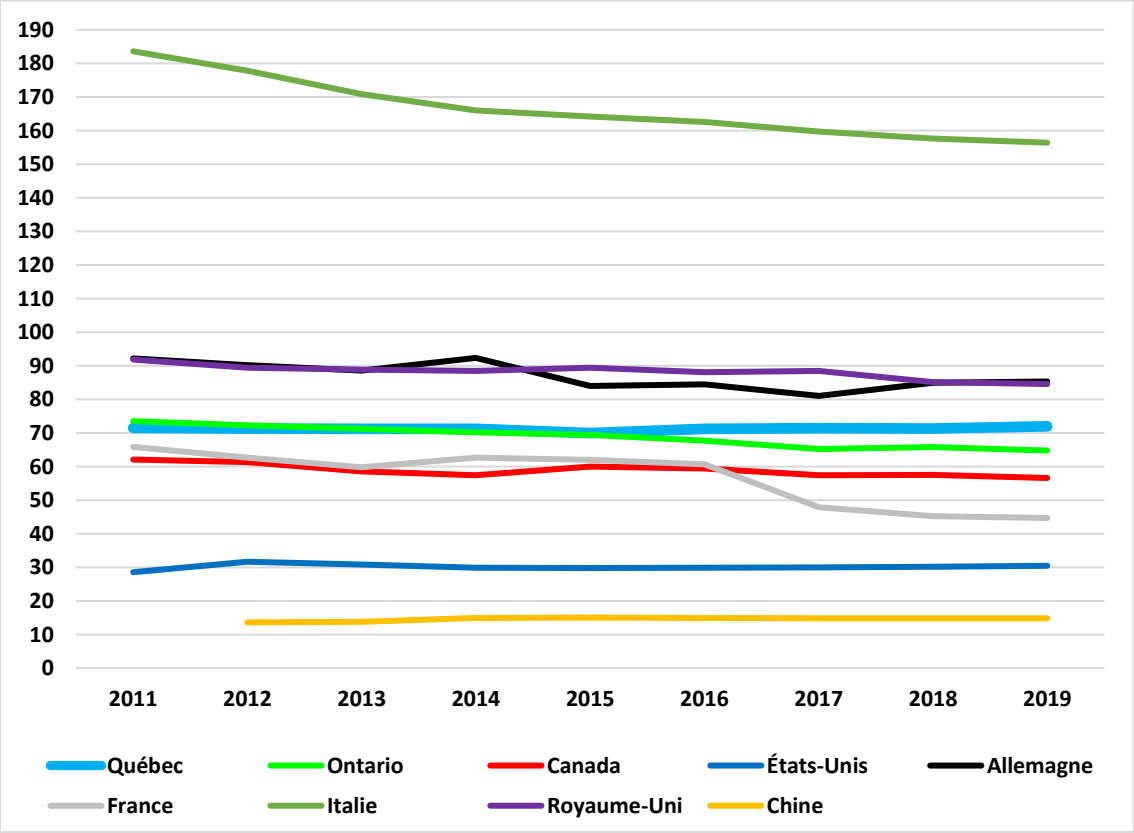
- *En revanche, et il faut certainement y voir de bons signes, le secteur québécois de la plasturgie et des produits du caoutchouc semble assez performant, voire en avance sur ses concurrents ontarien et/ou canadiens en ce qui concerne l'usage de la fabrication additive (particulièrement stratégique pour cette industrie), puis de l'intelligence artificielle.*

6.1. Caractéristiques économiques comparées

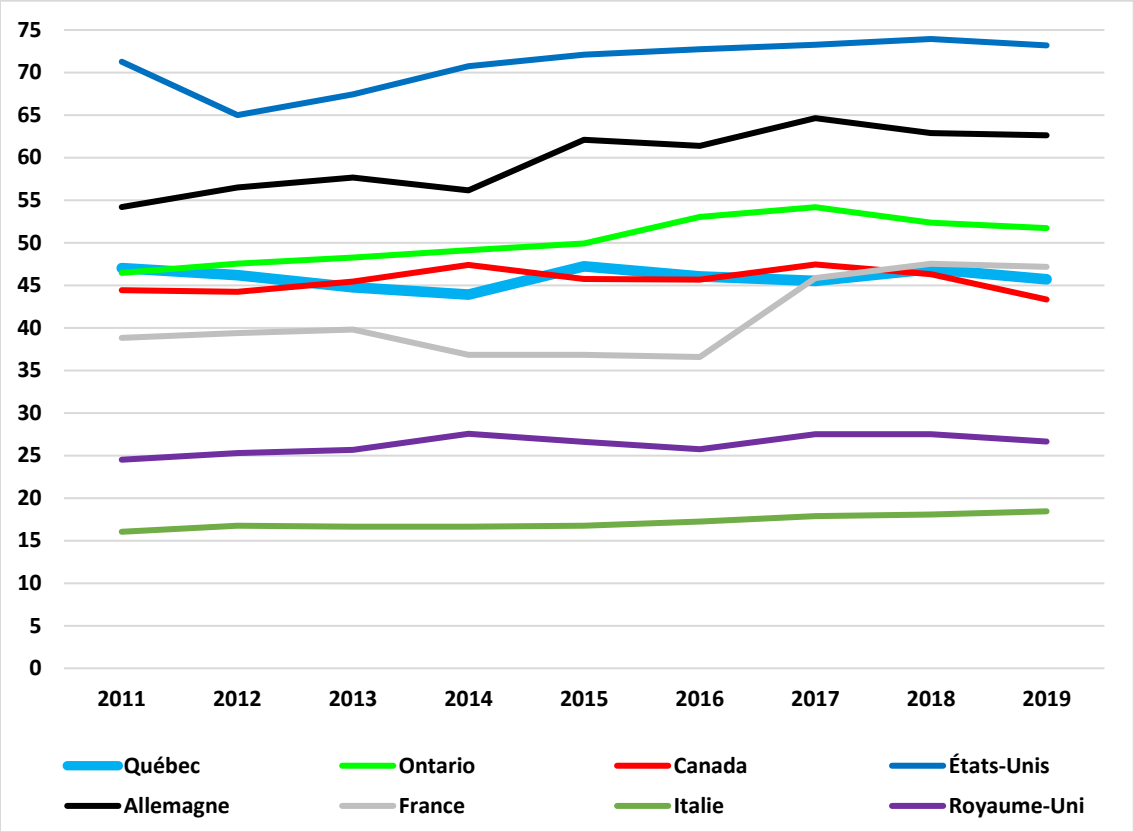
➢ Comme dans bien des secteurs manufacturiers, l'Italie est dans le secteur des produits de plastique et de caoutchouc le pays qui, parmi notre échantillon, a de loin la plus forte densité d'entreprises. Malgré un déclin relatif important au cours des années 2010, la densité d'entreprises de l'Italie dans ce secteur s'établissait toujours à plus de 150 entreprises par million d'habitants en 2019, loin devant le Royaume-Uni et l'Allemagne, tous deux à 85 entreprises par million d'habitants. Dans ce secteur également, donc, le bassin de petites entreprises italiennes est particulièrement important.

➢ Dans le secteur des produits de plastique/caoutchouc, la densité d'entreprises du Québec figure en milieu de peloton parmi les économies recensées. En date de 2019, le Québec y recensait un peu plus de 70 entreprises par million d'habitants, soit beaucoup moins qu'en Italie et un peu moins qu'au Royaume-Uni et en Allemagne, mais davantage qu'en Ontario (65), qu'au Canada dans son ensemble (57), qu'en France (45) et évidemment, qu'aux États-Unis (30) ou en Chine (15), où les entreprises sont en moyenne beaucoup plus grandes.

Graphique 119. Nombre d'entreprises par million d'habitants, secteur des produits de plastique et de caoutchouc[232]



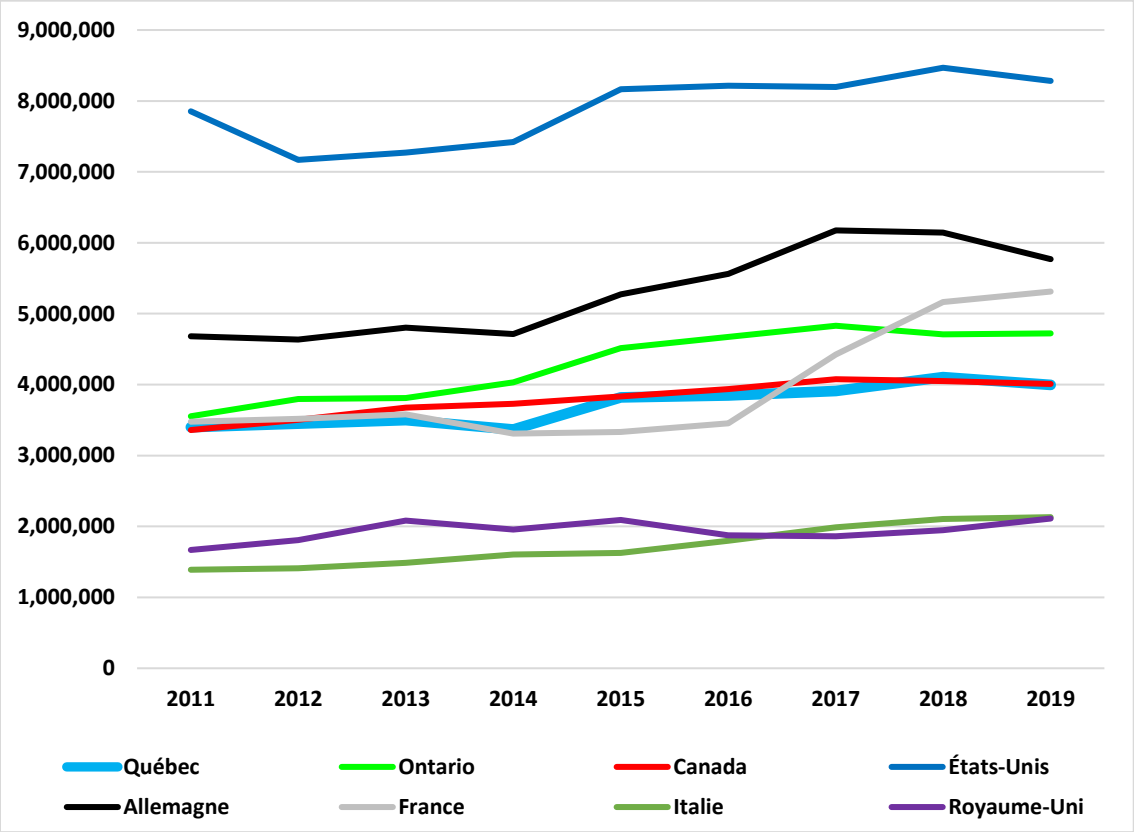
Graphique 120. Nombre d'emplois moyen par entreprise, secteur des produits de plastique et de caoutchouc[233]



➢ Les États-Unis et l'Allemagne (malgré la densité d'entreprises beaucoup plus forte de cette dernière dans ce secteur) sont, dans le créneau des produits de plastique et de caoutchouc, de loin les juridictions dont la taille moyenne des entreprises est la plus importante : les États-Unis se démarquent avec une moyenne de 73 employés par entreprise, suivis de l'Allemagne à 63. Parmi les économies recensées, l'Ontario est leur plus proche concurrente à un peu plus de 50 employés par entreprise en date de 2019.

➢ En ce qui concerne la taille moyenne de ses entreprises du secteur des produits du plastique et du caoutchouc, le Québec occupe également à l'échelle des pays recensés une position mitoyenne : à environ 46 employés par entreprise en date de 2019 – taille moyenne qui n'a à peu près pas bougé depuis le début des années 2010 – le Québec se situait derrière les États-Unis, l'Allemagne et l'Ontario mais à un niveau similaire à celui de la France (47) ou du Canada (43), et largement supérieur à celui du Royaume-Uni (27) ou de l'Italie (18).

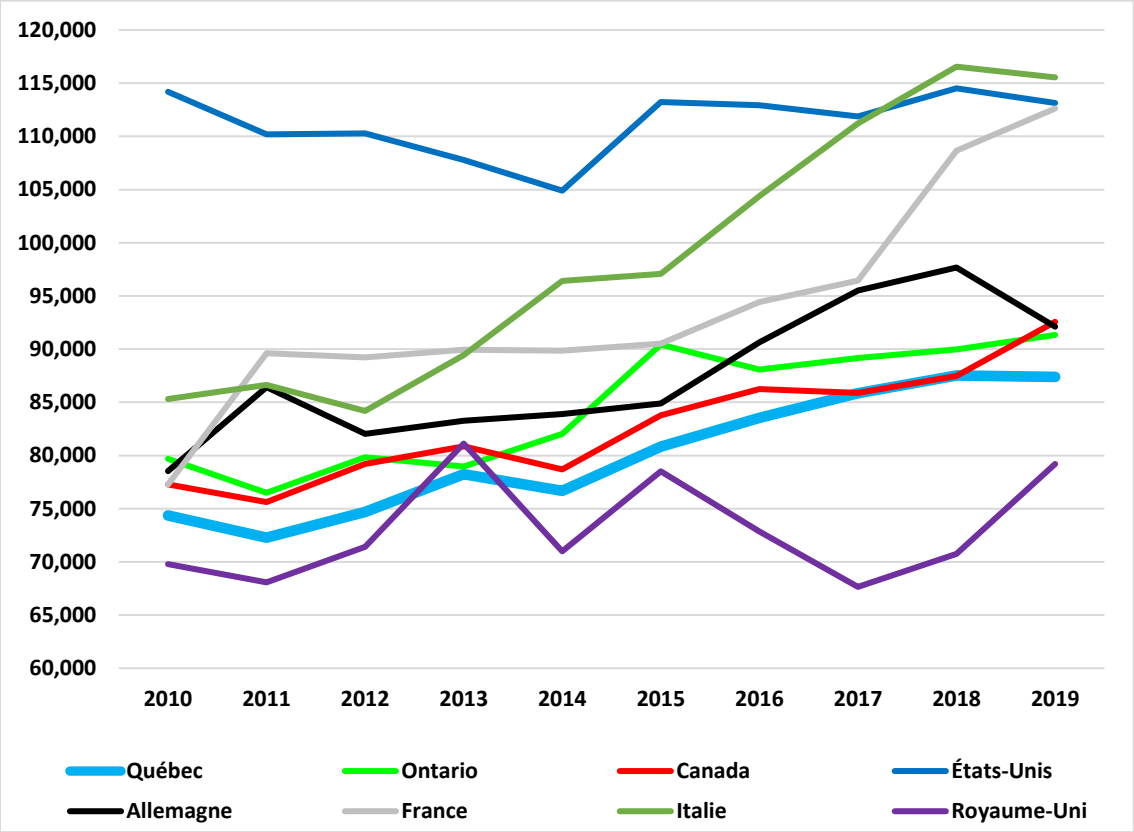
Graphique 121. PIB par entreprise, secteur des produits de plastique et de caoutchouc ($ US constants de 2015)[234]



➢ Sans surprises, leurs entreprises étant dans ce secteur beaucoup plus grandes qu'ailleurs en moyenne, les États-Unis et l'Allemagne sont également les pays qui, parmi notre échantillon, génèrent la plus forte production par entreprise : en date de 2019, et à la suite d'une croissance modérée depuis le début des années 2010, le PIB par entreprise dans le secteur des produits du plastique/caoutchouc était respectivement de 8,2 millions $US aux États-Unis et de 5,8 millions $US en Allemagne. Suivait d'assez proche la France, qui faisait particulièrement bien avec une production moyenne par entreprise de 5,3 millions $US, en forte croissance depuis 2016.

➢ Tout comme pour sa densité d'entreprises ou la taille moyenne de ses entreprises dans le secteur des produits du plastique et du caoutchouc, le Québec était en date de 2019 en milieu de peloton parmi les économies recensées en ce qui concerne la production moyenne par entreprise dans ce secteur : à tout juste un peu moins de 4 millions $US par entreprise, le Québec si situait derrière les États-Unis, l'Allemagne, la France et l'Ontario (4,7 millions $US) mais au même niveau que le Canada et devant l'Italie et le Royaume-Uni, tous deux à environ 2,1 millions $US de PIB par entreprise.

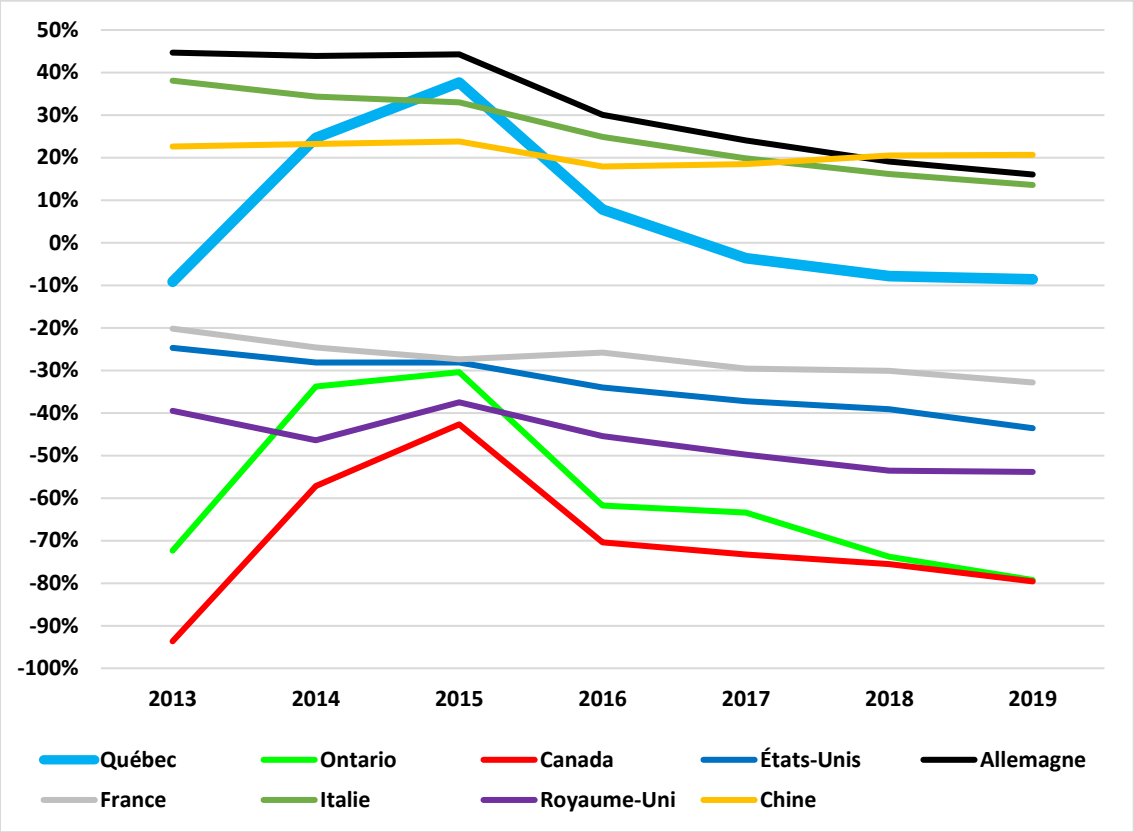
Graphique 122. PIB par emploi, secteur des produits de plastique et de caoutchouc ($ US constants de 2015)[235]



➢ La productivité du travail québécoise dans le secteur des produits du plastique et du caoutchouc a connu au cours des années 2010 une croissance notable : de moins de 75 000 $US par emploi en 2010, elle est passé à plus de 87 000 $US en 2019, positionnant néanmoins le Québec en avant dernière position parmi les économies recensées, devançant seulement le Royaume-Uni (79 000 $US). Le Québec est cependant loin d'être seul à avoir accru sa productivité dans ce secteur; l'Ontario et le Canada en ont fait de même et dépassaient donc le Québec en date de 2019, à respectivement 91 000 $US et 92 500 $US de PIB par emploi.

➢ À l'échelle internationale, tant le Québec que l'Ontario et le Canada demeurent dans la fourchette inférieure de notre échantillon en matière de productivité du travail dans le secteur des produits du plastique et du caoutchouc. L'Allemagne ne fait guère mieux à 92 000 $US par emploi, mais grâce à une croissance fulgurante depuis le début des années 2010, la productivité italienne (115 500 $US) et française (113 000 $US) a carrément rattrapé le niveau américain (1130 000 $US) en date de 2019. Sur cette période, la productivité du travail américaine a plutôt connu une stagnation.

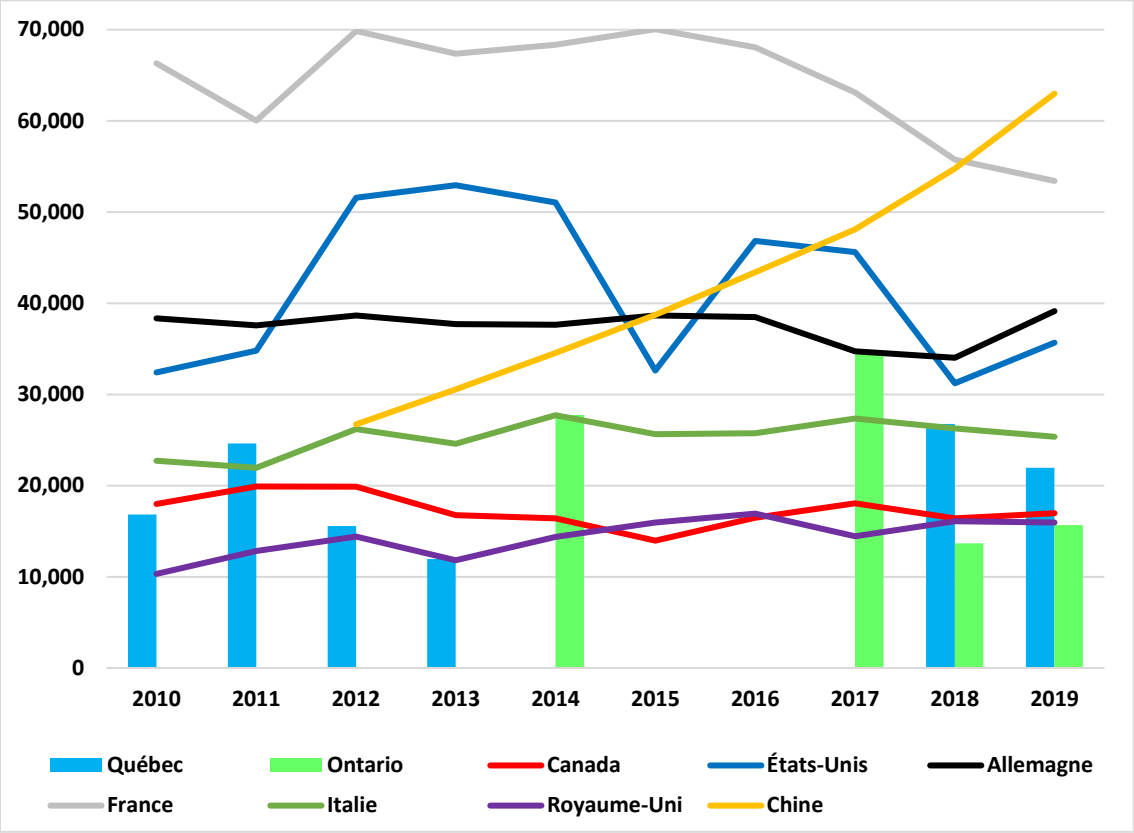
Graphique 123. Valeur de la balance commerciale du secteur des produits de plastique et de caoutchouc en % du PIB du secteur des produits de plastique et de caoutchouc[236]



➢ À la suite d'un recul important de son solde commercial dans le secteur des produits du plastique et du caoutchouc depuis le milieu des années 2010, le Québec est retombé en zone déficitaire à compter de 2017 et son déficit atteignait en 2019 l'équivalent d'un peu plus de 8% du PIB de ce secteur. À l'échelle internationale toutefois, le Québec occupe à cet égard une position mitoyenne, car parmi les pays recensés, seulement trois dégagent dans ce secteur des surplus commerciaux : l'Italie (14% du PIB sectoriel en 2019), l'Allemagne (16%) et la Chine (21%).

➢ Ayant aussi connu un fort recul de leur solde commercial dans le secteur des produits du plastique/caoutchouc à compter de 2015, l'Ontario et le Canada souffraient en date de 2019 des plus importants déficits parmi les pays de notre échantillon (environ 80% du PIB sectoriel). Malgré des déficits commerciaux croissants dans ce secteur également, le Royaume-Uni (54% du PIB), les États-Unis (44%) et la France (33%) faisaient toujours passablement mieux que l'Ontario et le Canada, mais moins bien que le Québec.

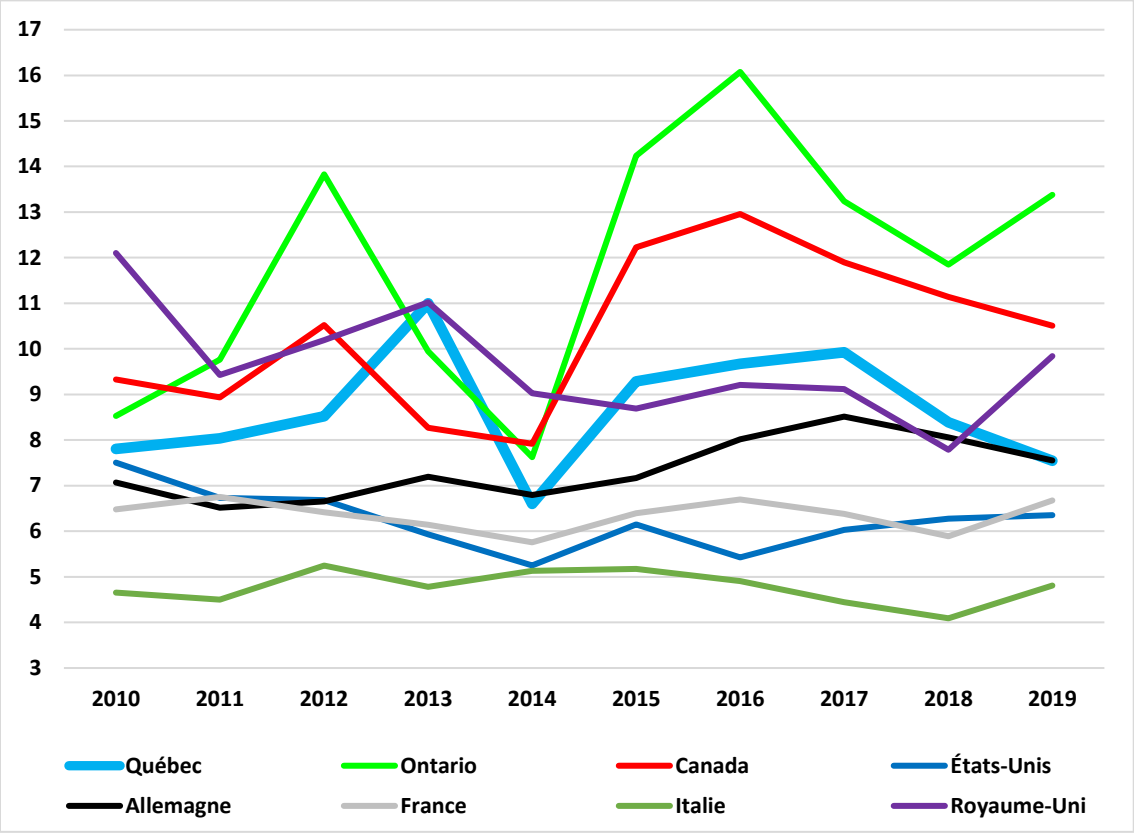
Graphique 124. Dépenses en R&D du secteur des produits de plastique et de caoutchouc pour chaque million $ de PIB du secteur des produits de plastique et de caoutchouc ($ US constants de 2015)[237]



➢ Bien que les données à notre disposition demeurent parcellaires, on peut observer que de manière générale au cours des années 2010, le Québec s'est situé dans la fourchette inférieure des juridictions recensées en matière de dépenses de R&D dans le secteur des produits du plastique et du caoutchouc. À un peu moins de 22 000 $US par million $ de PIB en 2019, les dépenses en R&D de ce secteur au Québec étaient supérieures à celle de l'Ontario (15 700 $US), du Royaume-Uni (16 000 $US) et du Canada (17 000 $US) mais assez largement inférieures, notamment, à celles de l'Italie (25 000 $US), des États-Unis (36 000 $US) ou de l'Allemagne (39 000 $US). Le Québec n'est donc apparemment, dans ce secteur, que relativement peu porté sur l'innovation.

➢ Deux pays se démarquent clairement en matière de dépenses en R&D dans ce secteur : la France, dont les dépenses sont cependant en déclin relatif depuis le milieu des années 2010 et s'établissaient en 2019 à un peu plus de 53 000 $US par million $ de PIB; puis la Chine, dont les dépenses de R&D ont à l'inverse carrément explosé depuis le début des années 2010 pour atteindre pas moins de 63 000 $US par million $ de PIB en 2019. Ces données illustrent donc bien la montée en puissance de la Chine en tant qu'économie manufacturière au cours de cette période, mais aussi les efforts de ce pays pour gagner en autonomie productive et en intensité technologique.

Graphique 125. PIB du secteur des produits de plastique et de caoutchouc pour chaque dollar de formation brute de capital fixe du secteur des produits de plastique et de caoutchouc ($ US constants de 2015)[238]



➢ En matière de productivité du capital, le Québec occupe également une position mitoyenne, parmi les économies recensées, dans le secteur des produits du plastique et du caoutchouc. Malgré quelques fluctuations, le niveau de productivité du capital québécois est demeuré dans ce secteur relativement stable entre 2010 et 2019, à un peu plus de 7,5 $US de PIB pour chaque dollar d'investissement en capital fixe. En date de 2019, le Québec faisait à cet égard aussi bien que l'Allemagne mais moins bien que le Royaume-Uni (9,8 $US), le Canada (10,5 $US) ou l'Ontario (13 $US), ces deux derniers ayant accru sensiblement leur productivité du capital depuis 2010.

➢ Par contraste avec leur forte productivité du travail dans ce secteur des produits du plastique et du caoutchouc, la France (6,7 $US par dollar d'investissement en capital fixe), les États-Unis (6,3 $US) et l'Italie (4,8 $US) font montre des plus faibles taux de productivité du capital parmi notre échantillon en date de 2019; cela peut cependant signifier que leurs investissements en capital fixe sont, proportionnellement, beaucoup plus importants, les gains de ces investissements en termes de productivité pouvant émerger avec un certain décalage.

6.2. Maturité technologique comparée

Tableau 21. Stock robotique du secteur des produits de plastique/caoutchouc (ISIC 22, 2020)[239]

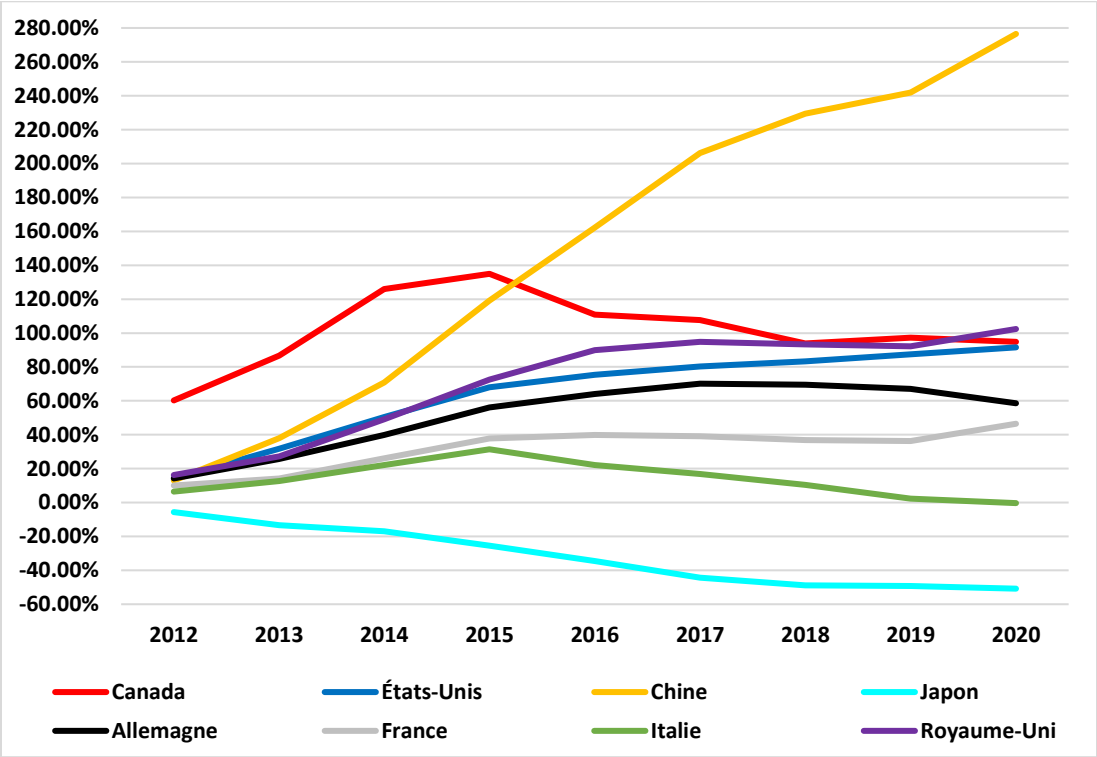
Québec	Canada	États-Unis	Royaume-Uni	France	All	Italie	Japon	Chine
253	1237	15542	2044	3621	17355	6298	15160	37284

En ordre de volume d'installations robotiques annuelles, le secteur des produits en plastique/caoutchouc est le quatrième secteur manufacturier en importance à l'échelle mondiale, derrière l'automobile, l'électronique et la métallurgie/produits métalliques mais devant l'agroalimentaire[240]. L'utilisation de robots industriels dans cette industrie est effectivement fort intensive, comme les données sur la densité robotique présentées plus loin le démontrent, car il s'agit d'un créneau dont les procédés de production sont répétitifs, les pièces de formes généralement homogènes et les volumes, élevés. Par ailleurs, il s'agit également d'un secteur pour lequel les pressions à la modernisation et en particulier, à la robotisation demeureront fortes au cours des prochaines années, et ce pour plusieurs raisons. D'abord, la réputation environnementale de cette industrie est à refaire et ses procédés de production devront intégrer de meilleures technologies de gestion des déchets et des résidus. De surcroît, en partie pour les mêmes raisons, les matériaux de base utilisés par cette industrie et donc, ses techniques de fabrication sont également en pleine transformation, à mesure que se développent de nouveaux composites recyclables et biodégradables mais aussi, tout l'éventail des polymères adaptés à l'impression 3D et à l'élaboration de produits plus complexes, plus personnalisés et/ou plus résistants. Dans ce contexte, l'évolution des technologies robotiques de moulage par injection, de scellage, de découpe, de peinture et plus largement, de manutention, d'assemblage et de contrôle de la qualité seront clefs[241].

Malgré un certain ralentissement dans la seconde moitié des années 2010 d'ailleurs (qui trahit une robotisation plus précoce que dans d'autres secteurs, plutôt qu'un réel déclin) et à quelques exceptions près, les stocks robotiques ont connu dans ce secteur, à l'échelle des économies avancées, une assez forte croissance au cours de la dernière décennie. Au Japon (-51%) et en Italie (-0,35%), il est vrai, le stock robotique a carrément décru depuis le début des années 2010, mais il faut bien voir que ces deux pays étaient alors déjà largement en avance en termes de densité robotique dans ce secteur; il s'agit donc, en particulier dans le cas de l'Italie mais pour le Japon également, davantage d'un rééquilibrage après une robotisation massive et précoce que d'un retour en arrière. En revanche, *en France (47%) comme en Allemagne (59%), aux États-Unis (92%), au Canada (95%) et au Royaume-Uni (102%), la croissance du stock robotique de l'industrie de la plasturgie et des produits du caoutchouc a été, entre 2011 et 2020, fort importante. Dans le cas du Canada (95%), cette croissance s'est toutefois surtout observée jusqu'en 2015, alors qu'un ralentissement des nouvelles installations s'est imposé durant la second moitié des années 2010,* sous l'effet peut-être de la dépréciation du dollar canadien et du report ou de la réévaluation de

certains investissements. Comme dans à peu près tous les secteurs manufacturiers, c'est toutefois la Chine qui a connu, pour cette industrie également, la plus forte croissance de son stock robotique, à plus de 275% sur la même période. Contrairement aux autres économies avancées d'ailleurs, la Chine n'a pas vraiment connu de ralentissement ou de renversement de cette tendance au cours de la seconde moitié de la décennie, ce qui s'explique par sa robotisation plus tardive et par le rattrapage qu'il lui reste à accomplir.

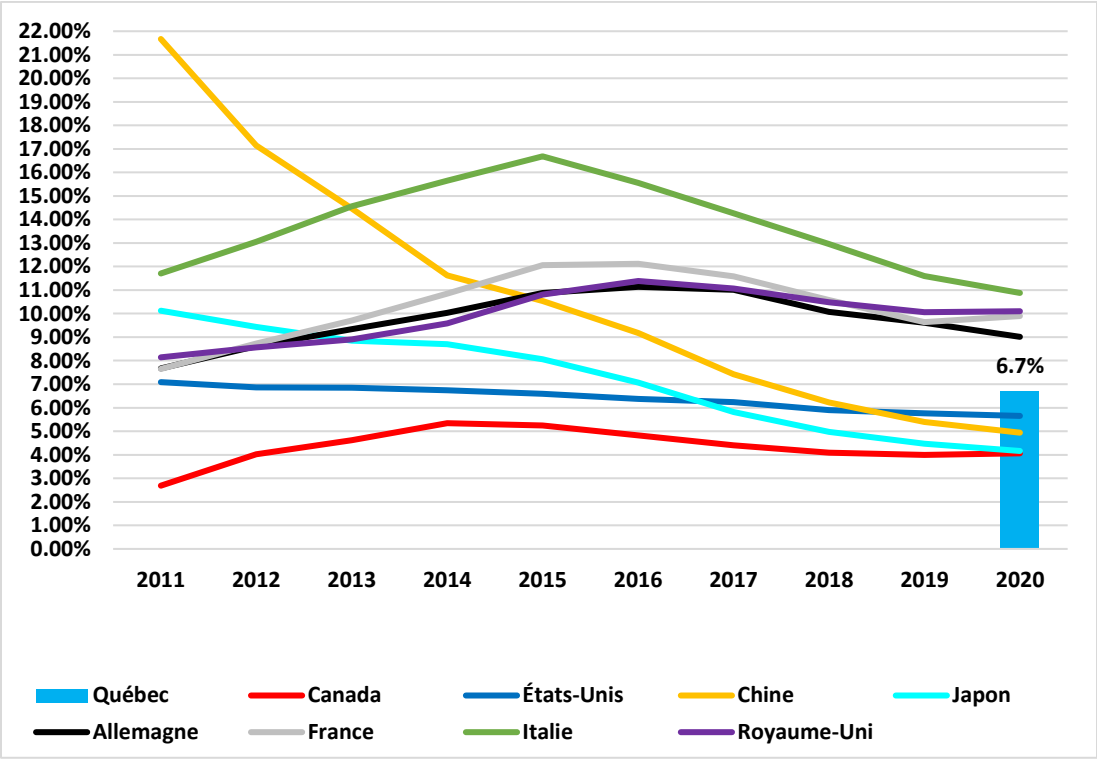
Graphique 126. Croissance cumulative 2011-2020 du stock de robots industriels opérationnels par pays, des produits en plastique et caoutchouc (ISIC 22) (année de référence = 2011)[242]



On remarque néanmoins qu'en ce qui concerne la Chine, cette croissance de 275% s'avère tout de même très « faible » en comparaison des taux cumulatifs astronomiques, dans les quatre chiffres, observés dans la plupart de ses autres secteurs manufacturiers. Par conséquent, le poids relatif du stock de robots du secteur chinois des produits du plastique/caoutchouc, en proportion du stock global de l'industrie manufacturière du pays, a cédé entre 2011 et 2020 plus de 15 points de pourcentage, passant de plus de 21% à moins de 5%. Il s'agit là d'une transformation notable, probablement attribuable en bonne partie à la montée en gamme du manufacturier chinois au cours de la dernière décennie, qui a vu se développer davantage et plus rapidement les secteurs à haute valeur ajoutée et à haute intensité technologique. À l'exception du Japon (10% à 4%), qui a également vu le poids robotique relatif de son secteur de la plasturgie et des produits du caoutchouc se rétracter, ce poids est demeuré à peu près stable ou alors s'est accru ou contracté très légèrement durant cette période : de 12% à 11% du stock manufacturier global en Italie, de 7% à 6% aux États-

Unis, de 8% à 10% au Royaume-Uni, de 8% à 9% en Allemagne et de 3% à 4% au Canada. Cette industrie occupe donc une position contrastée et dont l'évolution a été passablement différente d'un pays à l'autre. *Dans le cas du Québec, nous estimons que le secteur des produits de plastique/caoutchouc représentait, en date de 2020, un peu moins de 7% du stock robotique global de l'industrie manufacturière, une proportion encore assez supérieure à celle observée au Canada, mais dans la moyenne à l'échelle des pays recensés*.

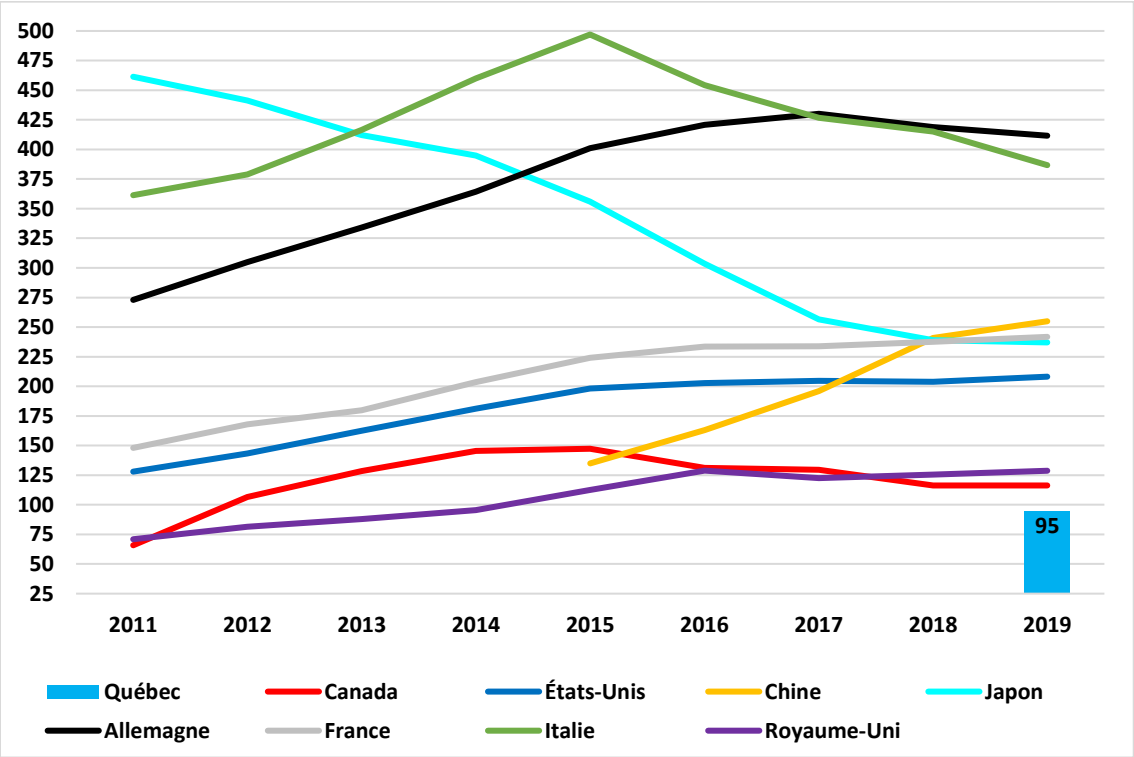
Graphique 127. Stock de robots industriels opérationnels du secteur des produits en plastique et caoutchouc (ISIC 22) en % du stock total du secteur manufacturier, par pays[243]



Le Québec dispose d'un secteur de la plasturgie et des produits du caoutchouc relativement important, principalement dans les créneaux de l'emballage, de la tuyauterie, des biens de consommation courante, puis des intrants de divers types pour les industries du transport et de la construction[244]. Avec ses plus de 600 entreprises, ce secteur représente tout de même près de 5% de la population d'entreprises du manufacturier québécois (et près de 30% du total canadien pour ce secteur); conséquemment, il n'est pas surprenant de constater que son stock robotique occupe à l'échelle de la province une place significative. Cela étant dit, *à seulement 95 robots/10,000 employés selon nos estimations, la densité robotique du secteur québécois des produits en plastique/caoutchouc demeure relativement faible, inférieure à la densité moyenne canadienne pour ce secteur (116/10,000) et très largement inférieure aux niveaux atteints par la plupart des économies avancées, dont les États-Unis (208), la France (242), l'Italie (387) ou l'Allemagne (412)*. La faible robotisation de ce secteur au Québec, relativement parlant, a possiblement des impacts

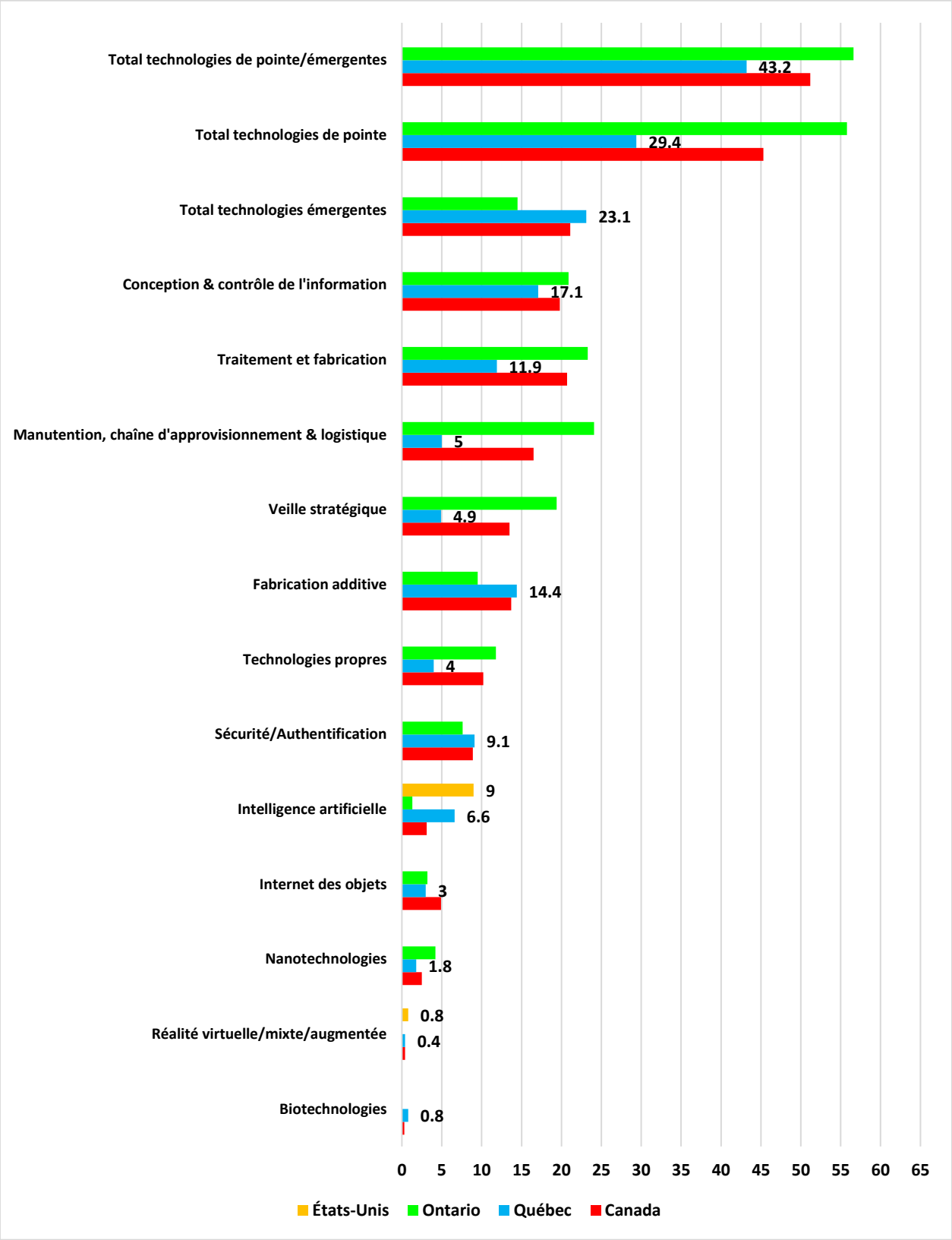
importants sur sa productivité : bien que celle-ci soit dans la moyenne des pays recensés, elle demeurait en date de 2019 inférieure à celle des industries ontarienne et canadienne, et encore plus largement inférieure à celle de l'Italie, de la France, des États-Unis ou de la Chine.

Graphique 128. Densité robotique du secteur des produits en plastique et caoutchouc (ISIC 22) (robots opérationnels/10,000 employés)[245]



Comme il demeure possible que, pour d'autres secteurs manufacturiers et comme nous l'avons reconnu tout au long de ce document, nos estimations aient quelque peu surestimé la densité robotique québécoise, il est également vraisemblable qu'elle soit, dans le cas de l'industrie de la plasturgie et des composites, légèrement *sous-estimée*. Néanmoins, *le constat d'une robotisation comparativement faible de ce secteur semble renforcé par les données plus générales sur l'adoption des technologies de pointe/3.0. et émergentes/4.0., qui montrent qu'à plusieurs égard et à quelques exceptions près, des retards plus ou moins importants subsistent au Québec*. Les entreprises québécoises de ce secteur sont en effet moins nombreuses, proportionnellement, à avoir intégré des technologies de traitement et de fabrication (y compris la robotique), mais aussi les technologies de manutention et de gestion logistique, puis de veille stratégique. Comme dans bien d'autres secteurs, les entreprises québécoises sont également en retard quant à l'adoption des technologies propres. *En revanche, et il faut certainement y voir de bons signes, le secteur québécois de la plasturgie et des produits du caoutchouc semble assez performant, voire même en avance sur ses concurrents ontarien et/ou canadiens en ce qui concerne l'usage de la fabrication additive (particulièrement stratégique pour cette industrie), puis de l'intelligence artificielle*.

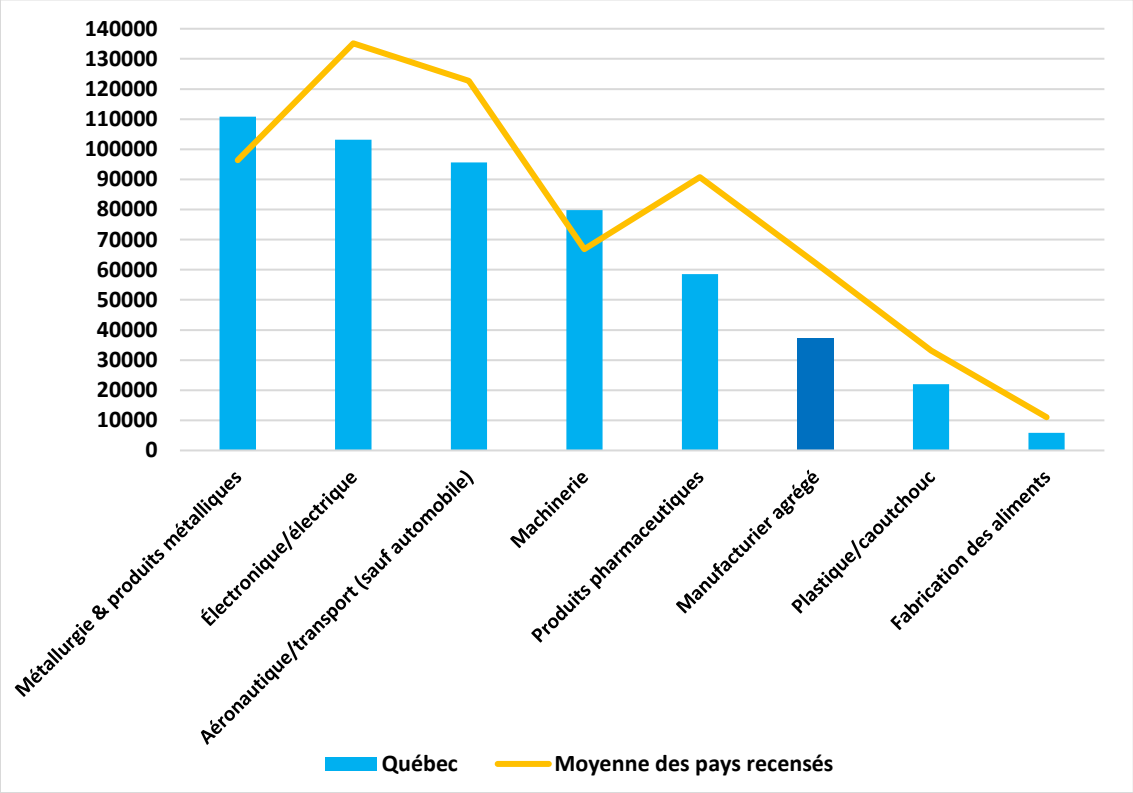
Graphique 129. Part (%) des entreprises du secteur de la fabrication de produits en plastique/caoutchouc utilisant des technologies de pointe et/ou émergentes (2017-2019)[246]



Conclusions et principaux constats

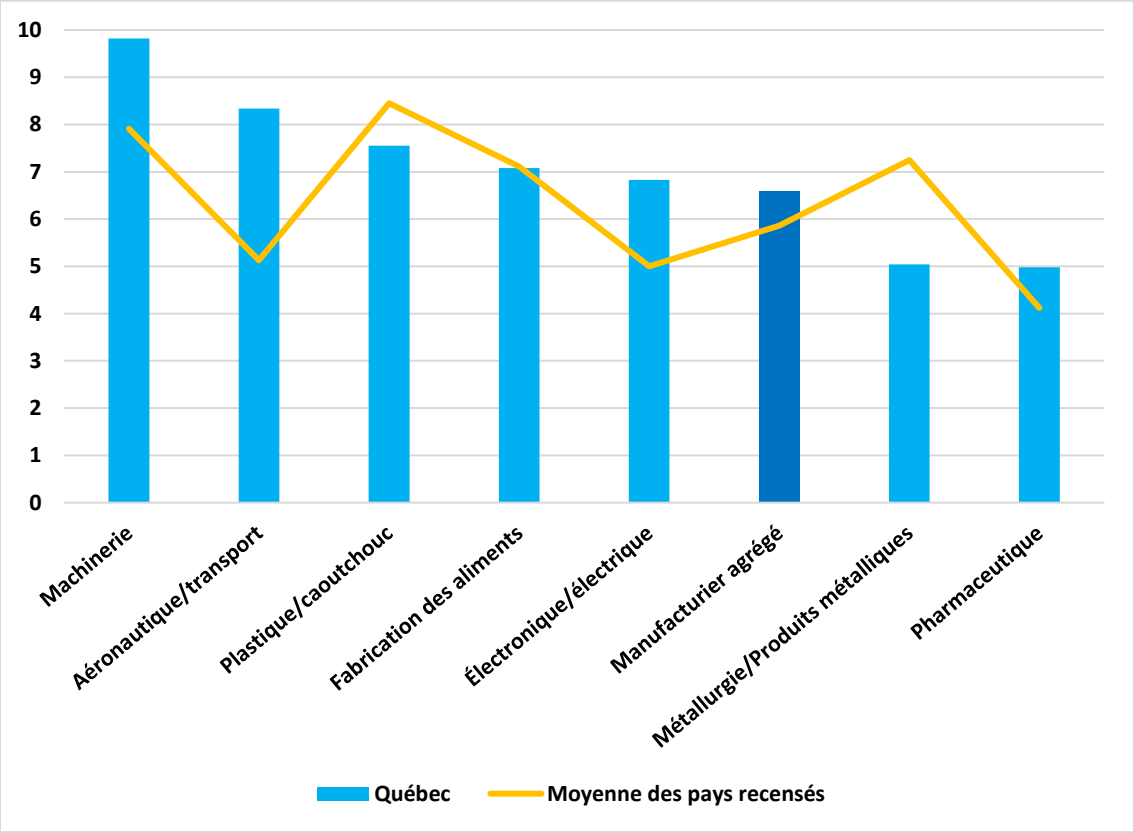
Ce grand tour d'horizon comparatif des caractéristiques économiques et de la maturité technologique des différents secteurs manufacturiers québécois peut s'avérer étourdissant, et il s'avère donc utile d'en dresser maintenant de grands constats plus généraux, qui permettent d'y voir plus clair et, nous en laissons la prérogative aux commanditaire et lecteurs de ce rapport, d'en tirer des enseignements utiles à l'élaboration de stratégies et de politiques ciblées. D'abord, tel que le Graphique 130 ci-bas le donne bien à voir, *l'une des caractéristiques économiques du manufacturier québécois portant probablement le plus à conséquence en termes d'innovation et, ultimement, de maturité technologique est le fait que, dans la majorité de ses sous-secteurs, les dépenses en R&D engagées par les entreprises sont, proportionnellement et en moyenne, assez largement inférieures à celles des principaux concurrents et partenaires commerciaux du Québec*. Cela est vrai à la fois pour le secteur manufacturier dans son ensemble, mais également pour les créneaux de l'électronique et du matériel électrique, du pharmaceutique, de la fabrication des aliments, des produits de plastique et de caoutchouc puis, de manière peut-être un peu plus surprenante, de l'aérospatiale et autres matériels de transport également. Il y a bien à cette règle quelques exceptions, comme les secteurs de la métallurgie, des produits métalliques et de la machinerie, secteurs dont la maturité technologique est d'ailleurs justement fort enviable, mais la tendance générale demeure évidente.

Graphique 130. Dépenses de R&D par million $ de PIB, Québec comparé par secteur (2019)[247]



Par ailleurs, si ce rapport a bien montré que, *dans la majorité des secteurs étudiés comme pour le manufacturier dans son ensemble, la productivité du travail québécoise est généralement et parfois largement inférieure à celle des autres économies avancées* – les secteurs de l'aéronautique et autres matériels de transport hors-automobile, de la fabrication des aliments, puis de la métallurgie et des produits métalliques sont ici les exceptions –, ce qui s'explique d'ailleurs probablement en partie par les faibles niveaux de R&D qu'on y consacre, *ce retard est en partie compensé toutefois par une productivité du capital souvent légèrement, voire assez substantiellement supérieure à la moyenne*. Cette productivité du capital comparativement enviable s'observe notamment dans les secteurs de la machinerie, de l'aéronautique (et autres matériels de transport hors-automobile), de l'électronique et du matériel électrique, du pharmaceutique et globalement, du manufacturier dans son ensemble (Graphique 131). Les raisons de cette bonne performance relative sont certainement multiples et complexes; mais dans beaucoup de cas comme en moyenne, l'avance du Québec est en quelque sorte artificielle et s'explique surtout par des taux d'investissement en capital fixe beaucoup moins importants qu'ailleurs (bien que supérieurs, en termes relatifs, à ceux de l'Ontario ou du Canada). Néanmoins, *cet indicateur démontre que le Québec manufacturier demeure efficace et compétitif : il est en mesure, pour le dire simplement, de produire plus ou en tout cas, de produire autant que les autres économies avancées, toutes proportions gardées, avec moins*.

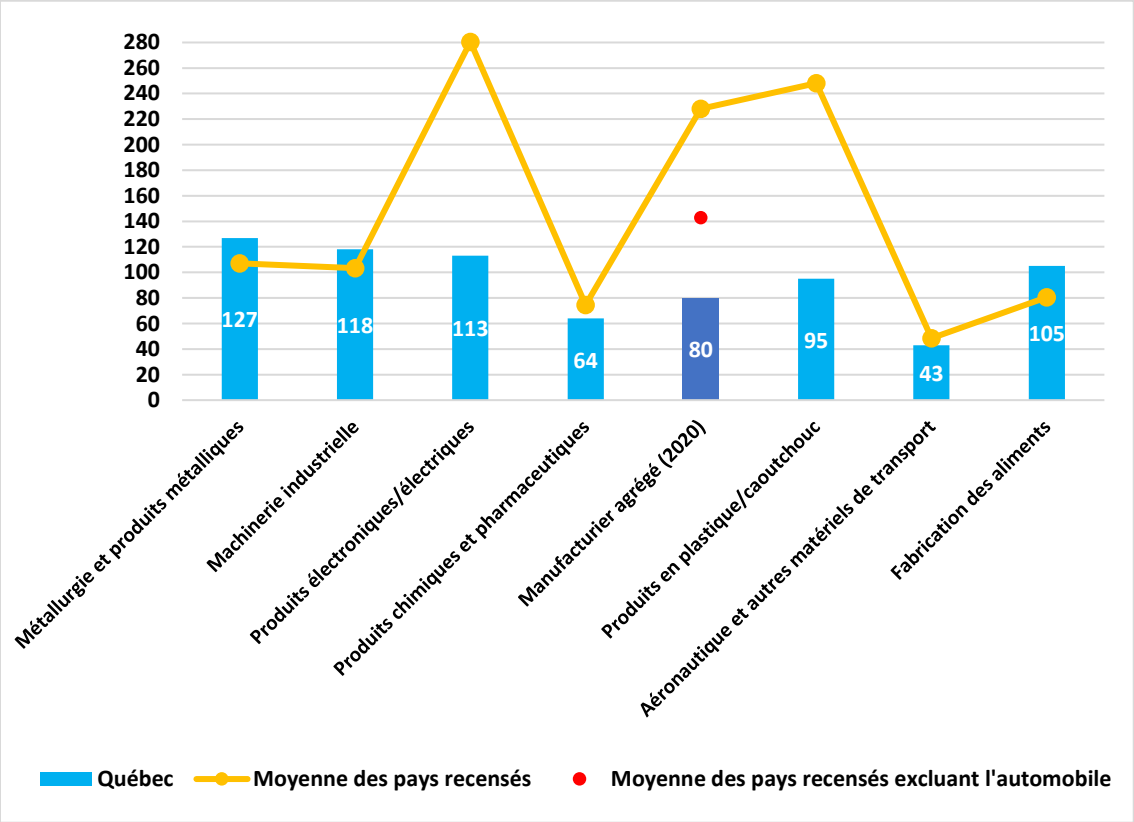
Graphique 131. Productivité du capital[xv] par secteur, Québec comparé (2019)[248]



[xv] PIB par dollar d'investissement en capital fixe (formation brute de capital fixe).

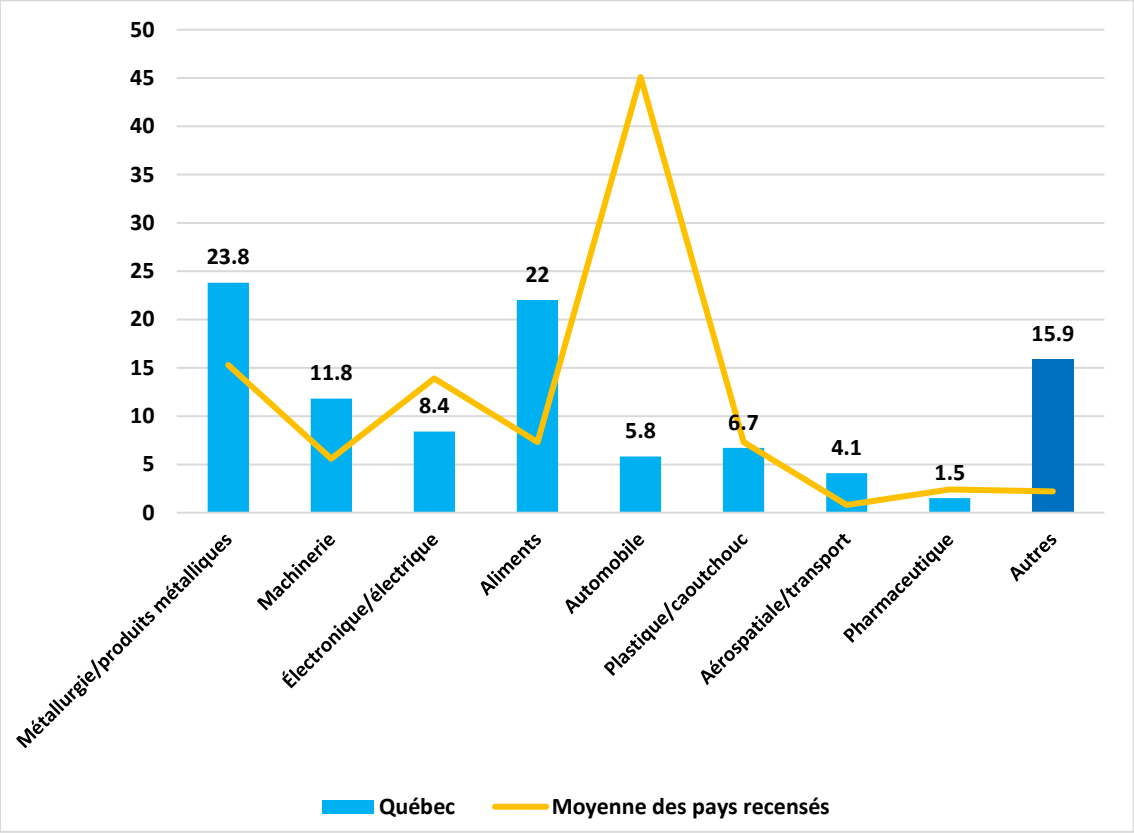
On peut évidemment présumer également que la productivité du capital, qui renvoie entre autres aux immobilisations en outils et équipements (notamment technologiques), est partiellement voire assez substantiellement corrélée au niveau de maturité technologique général des entreprises composant les différentes industries étudiées. C'est d'ailleurs en partie ce que porte à croire la performance comparée des secteurs manufacturiers québécois en matière de densité robotique : *dans certains créneaux où le Québec fait relativement bien en termes de productivité du capital, il s'avère également que sa densité robotique soit, selon nos estimations, assez comparable à celles des autres économies avancées ou alors même, légèrement supérieure; c'est apparemment le cas, notamment, des secteurs de l'agroalimentaire, de la machinerie, puis de l'aéronautique et autres matériels de transport (hors-automobile). Cependant, on observe la relation inverse dans d'autres secteurs* où la maturité technologique du Québec est supérieure et sa productivité inférieure (ou vice-versa) : ce sont ceux de la métallurgie et des produits métalliques, des produits chimiques et pharmaceutiques, puis de l'électronique et du matériel électrique, mais cela s'applique également au manufacturier dans son ensemble (même en excluant le secteur automobile de l'équation). La maturité technologique n'est donc visiblement pas le *seul* facteur en cause dans la productivité du capital enviable du manufacturier québécois, et on peut certainement considérer également que la robotique n'est pas la seule classe de technologies déterminant cette maturité et indirectement, cette productivité relative du capital.

Graphique 132. Densité robotique comparée des différents secteurs manufacturiers québécois (2019)[249]



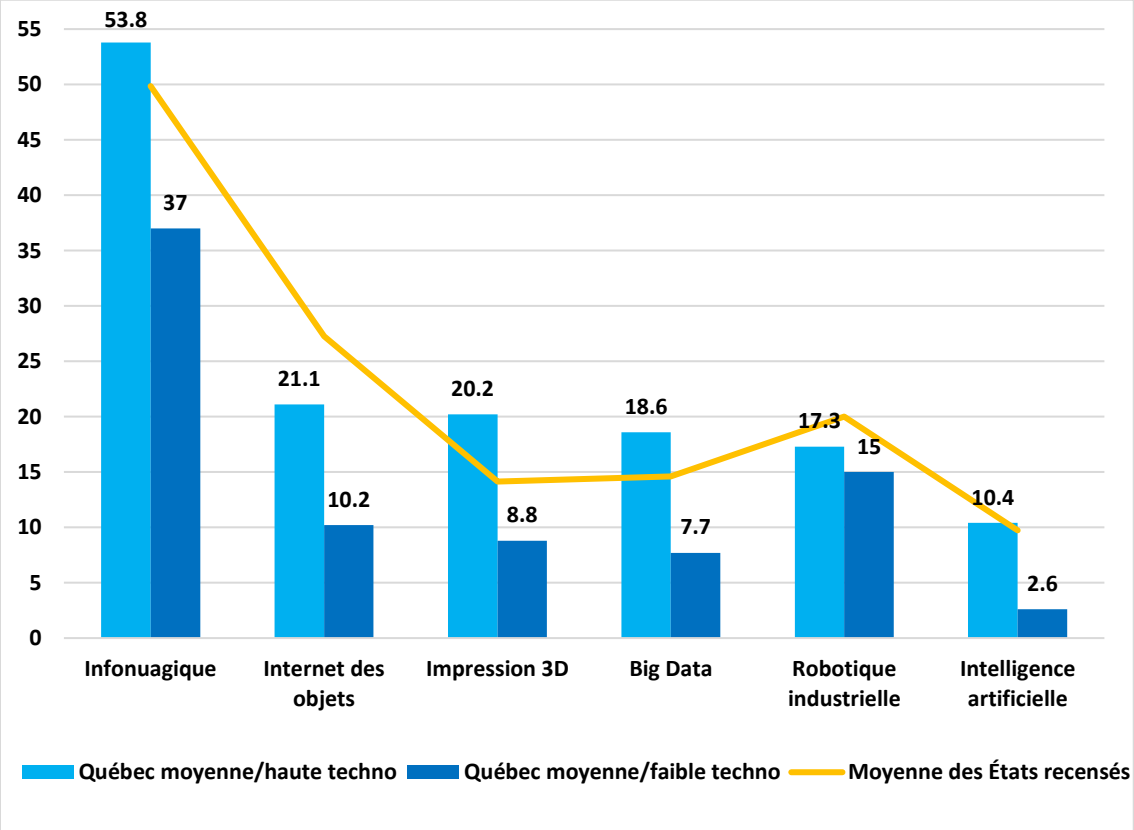
Une foule d'autres facteurs peuvent donc certainement jouer sur les liens de cause à effet entre la maturité technologique globale d'une industrie (et en particulier du secteur manufacturier considéré de manière agrégée) puis sa productivité (du travail comme du capital). Avant d'évoquer pour terminer la question de l'utilisation plus large de l'éventail des autres technologies 3.0. et 4.0. par les divers secteurs manufacturiers québécois, il est d'abord important de noter à cet égard que *la composition sectorielle parfois fortement divergente de l'industrie manufacturière des différents pays recensés – taille des secteurs, densité d'entreprises, taille moyenne des entreprises, ouverture commerciale, etc. – peut évidemment elle-même influer sur leurs niveaux moyens de productivité*. Comparer par exemple les industries manufacturières québécoises à leurs équivalentes américaines ou allemandes ne fait pas toujours sens considérant leur caractéristiques économiques souvent très différentes et donc, leurs mesures comparatives de productivité et de maturité technologiques doivent elles-aussi être interprétées avec nuance. On le voit par exemple très bien en comparant le poids respectif des stocks robotiques sectoriels du Québec et des autres économies avancées en proportion du stock manufacturier global : *la composition propre du secteur manufacturier québécois, notamment en raison de l'absence d'une industrie automobile intégrée et de la concentration du secteur aéronautique au Québec, puis de l'importance particulière que revêtent également ses industries agroalimentaire, métallurgique (pensons à l'aluminium) et des produits métalliques, correspond également à une distribution de ses stocks robotiques qui lui est propre*.

Graphique 133. Stock robotique opérationnel par secteur en % du stock robotique global de l'industrie manufacturière, Québec comparé (2020)[250]

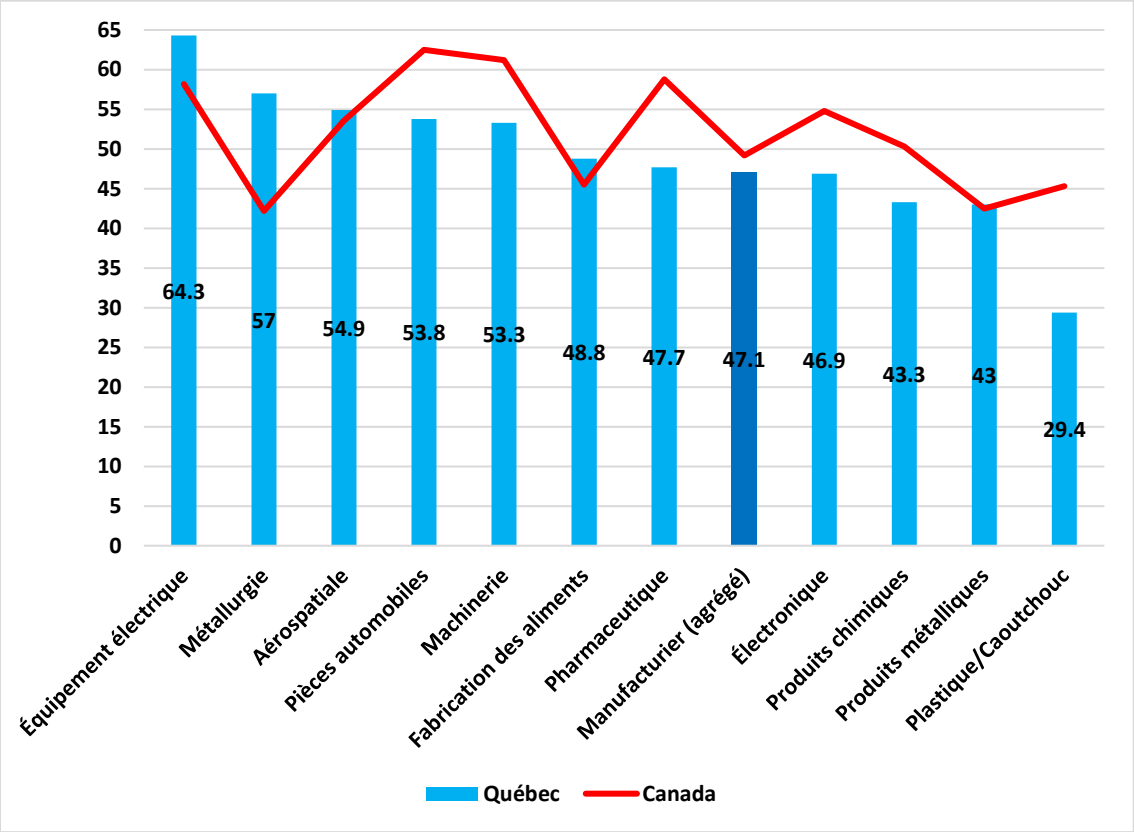


Évidemment, la maturité technologique d'une entreprise ou d'une industrie ne se limite pas non plus qu'à la seule adoption de la robotique, mais relève également de celle d'une foule d'autres systèmes d'automatisation et de technologies émergentes qui, comme l'analyse des données massives par intelligence artificielle, l'impression 3D ou même les technologies propres, transforment voire révolutionnent les procédés de production et ont le potentiel d'influer parfois très fortement sur les taux de productivité du travail et du capital. À ce sujet également, les constats à tirer du présent rapport à propos du secteur manufacturier québécois et de ses différentes industries sont nuancés. Le Chapitre 1 a par exemple bien montré deux choses : d'abord, *en ce qui concerne l'adoption de la robotique comme de la plupart des autres technologies 3.0. et 4.0., il faut bien distinguer entre les secteurs manufacturiers de faible ou de moyenne-faible technologie (par exemple, la fabrication des aliments) puis les créneaux de moyenne-haute ou de haute technologie (par exemple, l'aérospatiale), qui n'ont souvent pas les mêmes besoins ou les mêmes moyens et ne sont donc évidemment pas aux mêmes niveaux*; ensuite, il s'avère que *de manière générale et en particulier bien sûr en ce qui concerne les créneaux de moyenne/haute technologie, le Québec manufacturier se situe à cet égard en milieu de peloton, voire parfois parmi les leaders à l'échelle internationale (c'est le cas en ce qui concerne l'utilisation de l'infonuagique, de l'intelligence artificielle/big data ou de l'impression 3D, par exemple)*.

Graphique 134. Part (%) des entreprises manufacturières qui utilise des technologies d'automatisation 4.0., Québec comparé par niveau technologique des secteurs (2016-2021)[251]

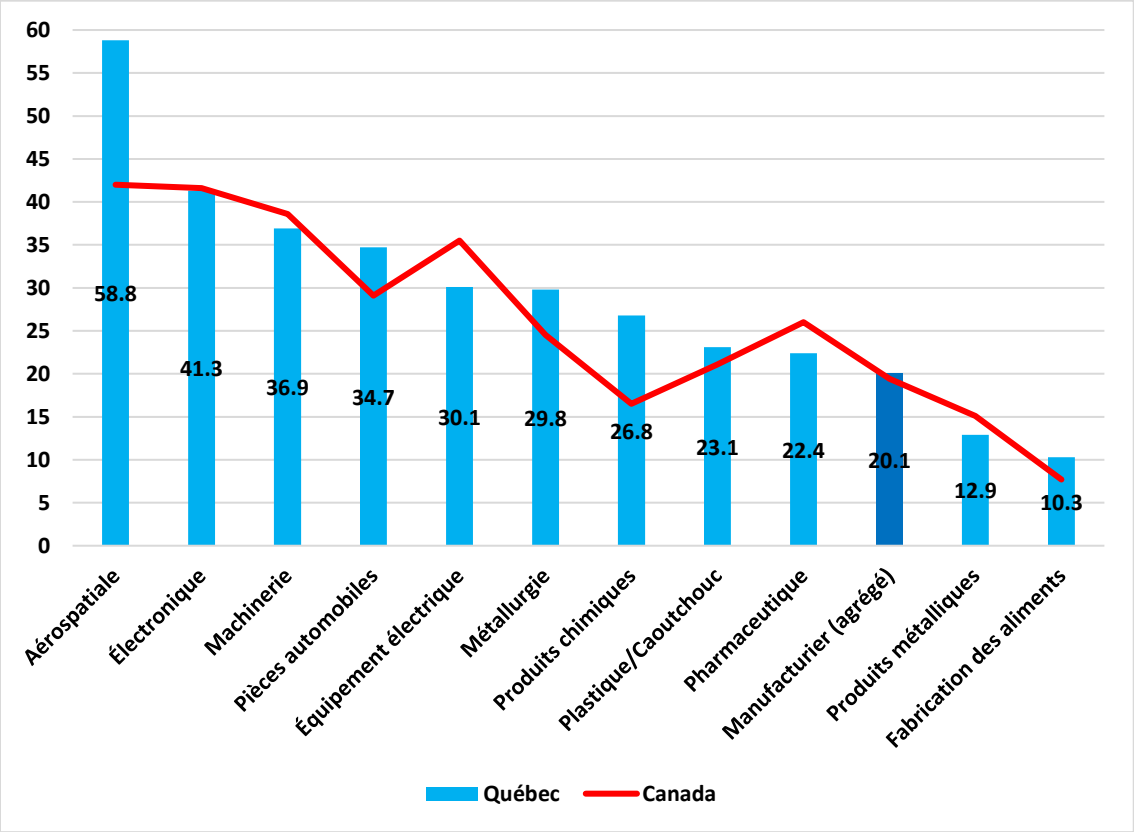


Graphique 135. Part (%) des entreprises qui utilise des technologies d'automatisation 3.0. (incluant la robotique), Québec vs. Canada par secteur manufacturier (2019)[252]



Les données disponibles sur l'adoption des technologies 3.0. et 4.0. par les différents secteurs manufacturiers québécois, dont la fiabilité nous permet surtout des comparaisons avec le Canada dans son ensemble, nous ont enfin permis d'établir un constat particulièrement intéressant, et qui révèle possiblement l'émergence de certains avantages compétitifs pour le Québec à moyen/long termes. En effet, *si de manière générale et malgré quelques exceptions (ex. équipement électrique, métallurgie, produits métalliques, aérospatiale, aliments), le manufacturier québécois semble avoir accumulé un certain retard sur le reste du Canada et souvent, sur d'autres économies avancées en ce qui concerne l'adoption de la robotique et d'autres technologies d'automatisation 3.0. (Graphique 135), retard qui est d'ailleurs en voie d'être partiellement, voire totalement comblé dans le cas de la robotique, on peut remarquer en revanche que dans bien des secteurs, le Québec manufacturier semble être passé directement au 4.0. (Graphique 136) et avoir ainsi accumulé une légère avance sur ses concurrents canadiens et parfois, internationaux*. À l'échelle du Canada par exemple, on peut remarquer ce phénomène dans les domaines de l'électronique, des pièces automobiles, des produits chimiques, des produits de plastique et de caoutchouc ou même du manufacturier dans son ensemble, alors que les secteurs québécois font montre d'un retard sur le 3.0. mais d'une avance, parfois importante, sur le 4.0. Dans certains secteurs, notamment et sans surprise, dans les créneaux de la métallurgie et surtout, de l'aérospatiale, le Québec se révèle en avance à la fois sur le 3.0. et le 4.0. Tout (en en tout cas beaucoup) est donc question de perspective.

Graphique 136. Part (%) des entreprises qui utilise des technologies d'automatisation 4.0., Québec vs. Canada par secteur manufacturier (2019)[253]



Bibliographie

Général

- Atkinson, Robert D. (2019), *Robotics and the Future of Production and Work*, Information Technology & Innovation Foundation, Washington.
- Capgemini Consulting (2018), *Artificial Intelligence Benchmark*, Paris.
- EY (2019), *3D Printing : Hype or Game Changer? A Global EY Report 2019*, Londres.
- Ezell, Stephen (2018), *Why Manufacturing Digitalization Matters and How Countries are Supporting It*, Information Technology & Innovation Foundation, Washington.
- Global X Funds (2022), *Charting Disruption : Outlook 2022*, Marea Assets, New-York.
- International Federation of Robotics (2022), *Artificial Intelligence in Robotics*, Position Paper, Francfort.
    - 2021, *World Robotics R&D Programs*, Information Paper, Francfort.
    - 2020, *Demystifying Collaborative Industrial Robots*, Positioning Paper, Francfort.
    - 2020, *How Connected Robots are Transforming Manufacturing*, Information Paper, Francfort.
    - 2020, *Next Generation Skills : Enabling Today's and Tomorrow's Workforce to Benefit from Automation*, Positioning Paper, Francfort.
    - 2018, *Robots and the Workplace of the Future*, Positioning Paper, Francfort.
    - 2017, *The Impact of Robots on Productivity, Employment and Jobs*, Positioning Paper, Francfort.
- International Federation of Robotics Statistical Department (2021), *World Robotics : Industrial Robots 2021. Statistics, Market Analysis, Forecasts and Case Studies*, Francfort.
- Jurkat, Anne, Rainer Klump et Florian Schneider (2021), « Tracking the Rise of Robots : A Survey of the IFR Database and its Applications », *Goethe University Francfort*, en ligne : https://mpra.ub.uni-muenchen.de/107909/
- Kagermann, H. et Y. Nonaka (dir.), 2019, *Revitalizing Human-Machine Interaction for the Advancement of Society : Perspectives from Germany and Japan*, acaTECH Discussion Series, Munich.

- McKinsey & Company (2020), *How COVID-19 has pushed companies over the technology tipping point – and transformed business forever*, McKinsey Digital and Strategy & Corporate Finance Practices, New-York.
    - 2019, *Industrial Robotics : Insights into the Sector's Future Growth Dynamics*, Advanced Industries, New-York.
    - 2017, *A Future that Works : Automation, Employment, and Productivity*, McKinsey Global Institute, New-York.
- OECD (2019), « Determinants and Impact of Automation: An Analysis of Robots' Adoption in OECD Countries", *OECD Digital Economy Papers*, No. 277, OECD Publishing, Paris.
    - (2018), « Putting Faces to the Jobs at Risk of Automation », *Policy Brief on the Future of Work*, OECD Publishing, Paris.
    - 2018, « Industrial Robotics and the Global Organisation of Production », OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2018/03, OECD Publishing, Paris.
- Oxford Economics (2019), *How Robots Change the World. What Automation Really Means for Jobs and Productivity*, Oxford.
- PWC (2017), *Digital Factories 2020 : Shaping the Future of Manufacturing*, Berlin.
- United Nations (2008), *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities – Revision 4*, Statistical Papers Series M – No.4/Rev. 4, Department of Economics and Social Affairs, Statistics Division, New-York.
- World Economic Forum (2020), *The Future of Jobs Report 2020*, Genève.
- Zapata (2021), *The First Annual Report on Enterprise Quantum Computing Adoption*, Boston.

Études de cas internationales

- Abdulla, Sara M. (2021), *China's Robotics Patent Landscape*, CSET Data Brief, Center for Security and Emerging technology, Georgetown University, Washington.
- Cheng, Hong, Ruixue Jia, Dandan Li et Hongbin Li (2019), « The Rise of Robots in China », *Journal of Economic Perspectives*, 33 (2), p. 71-88.

- China Employer-Employee Survey Team (2017), *How are Chinese Manufacturing Firms Coping with Rising Labor Costs?*, CEES Report (2015-2016), Wuhan.
- European Commission (2021), *Advanced Technologies for Industry – International Reports : Advanced Technology Landscape and Related Policies in the United States of America*, Bruxelles.
    - 2021b, *Advanced Technologies for Industry – International Reports : Advanced Technology Landscape and Related Policies in China*, Bruxelles.
    - 2021c, *Advanced Technologies for Industry – International Reports. Report on the United Kingdom : Technological Capacities and Key Policy Measures*, Bruxelles.
    - 2021d, *Advanced Technologies for Industry – International Reports. Report on Japan : Technological Capacities and Key Policy Measures*, Bruxelles.
- Germany Trade & Invest (2022), *The Robotics & Automation Industry in Germany*, Fact Sheet, Berlin.
- Green Leigh, Nancey, Heonyeong Lee et Benjamin Kraft (2022), « Disparities in Robot Adoption among U.S. Manufacturers : A Critical Economic Development Challenge », *Industry and Innovation*, en ligne : https://doi.org/10.1080/13662716.2021.2007757
- Jungmittag, Andre (2020), « Robotisation of the manufacturing industries in the EU : Convergence or Divergence? », *The Journal of Technology Transfer*, 46, p. 1269-1290.
- Krzywdzinski, Martin (2020), *Automation, Digitalization, and Changes in Occupational Structures in the Automobile Industry in Germany, the United States and Japan : A Brief History from the Early 1990s Until 2018*, Weizenbaum Series 10, Weizenbaum Institute for the Networked Society – The German Internet Institute, Berlin.
- Motohashi, Kazuyuki (2017), *Survey of Big Data Use and Innovation in Japanese Manufacturing Firms*, Policy Discussion Paper Series 17-P-027, Research Institute of Economy, Trade and Industry, Tokyo.
- Pôle interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations économiques (2017), *Futur de la fabrication additive – Rapport final*, Études économiques, République française, Paris.
- Reshetnikova, Marina S., Irina A. Pugacheva et Yulia D. Lukina (2021), « The evolution of robotics in China : accumulated experience and prospects », SHS Web of Conferences, en ligne : https://doi.org/10.1051/shsconf/202111401030

- The Industrial Policy Research Center (2020), *Robotics and Automation : A New Perspective*, Loughborough University, Loughborough.

Canada et Québec

- Alliance CATA et ScienceTech Communications (2017), *Le secteur manufacturier avancé. Enquête sur l'automatisation du secteur manufacturier au Québec*, Montréal.
- Association pour le développement de la recherche et de l'innovation du Québec (2016), *Quatrième révolution industrielle : l'urgence de collaborer pour innover*, Montréal.
- Banque de développement du Canada (2022), *Saisissez l'avantage technologique. Pourquoi les entreprises qui adoptent le numérique performent mieux*, Montréal.
    - 2017, *Industrie 4.0. : la nouvelle révolution industrielle. Les fabricants canadiens sont-ils prêts ?*, Montréal.
- Brookfield Institute (2021), *Picking Up Speed : Digital Maturity in Canadian SMEs – and Why Increasing it Matters*, Brookfield Institute for Innovation and Entrepreneurship, Toronto.
    - 2017, *Automation Across the Nation : Understanding the Potential Impacts of Technological Trends Across Canada*, Data Insights, Toronto.
- CEFRIO (2017), *Industrie 4.0. Enquête auprès des entreprises manufacturières du Québec*, Rapport d'analyse réalisé pour le Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation, Québec.
    - 2017b, *Portrait des pratiques numériques des entreprises manufacturières de la région de la Capitale Nationale*, Rapport réalisé pour Québec International, Québec.
- CIRANO (2020), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique*, Montréal.
- Deslauriers, Jonathan, Robert Gagné et Jonathan Paré (2022), *Productivité et prospérité au Québec. Bilan 2021*, Centre sur la productivité et la prospérité, HEC Montréal, Montréal.
    - 2019, *Manufacturier 4.0. : dynamiser l'activité manufacturière au Québec*, Centre sur la productivité et la prospérité, HEC Montréal, Montréal.
- Dixon, Jay (2020), *How to build a Robots! Database*, Statistics Canada, Analytical Studies : Methods and References, Ottawa.

- 2020b, *L'effet des robots sur le rendement et l'emploi des entreprises*, Statistique Canada, Aperçus économiques, Ottawa.
- 2020c, *Répercussions des robots sur l'emploi : données à l'échelle des entreprises*, Statistique Canada, Direction des études analytiques : documents de recherche, Ottawa.

- European Commission (2021), *Advanced Technologies for Industry – International Reports. Report on Canada : Technological Capacities and Key Policy Measures*, Bruxelles.
- Excellence Industrielle Saint-Laurent (2022), *Lean 4.0. et continuité numérique : rapport du Forum Excellence industrielle 2021*, Montréal.
- Fédération des chambres de commerce du Québec (2018), *Les freins à l'investissement numérique des entreprises du secteur manufacturier*, Montréal.
- Frank, Kristyn, Zhe Yang et Marc Frenette (2021), *L'évolution de la nature du travail au Canada dans le contexte des progrès récents en technologie de l'automatisation*, Statistique Canada, Rapports économiques et sociaux, Ottawa.
- Frenette, Marc et Kristyn Frank (2020), *Automatisation et transformation des emplois au Canada : qui est à risque ?*, Statistique Canada, Direction des études analytiques : documents de recherche, Ottawa.
  - 2020b, *Automatisation et différences entre les sexes : la transformation des emplois est-elle plus probable chez les femmes ?*, Statistique Canada, Direction des études analytiques : documents de recherche, Ottawa.
  - 2020c, *L'automatisation, les travailleurs et la COVID-19*, Statistique Canada, Ottawa.
- Future Jobs Canada (2021), *The Pace of Robotics Technology Adoption in Canada*, University of Toronto, Toronto.
- Institut de la statistique du Québec (2016), *L'utilisation des technologies de pointe dans les entreprises au Québec*, Rapport d'enquête, Science, Technologie et Innovation, Québec.
- KPMG (2022), *Ensemble pour bâtir le futur. Guide pour la croissance et la prospérité des entreprises québécoises*, Focus Québec 2025, Montréal.
  - (2022), *La technologie comme levier d'amélioration de la chaîne* d'approvisionnement, Focus Québec 2025, Billet Contenu additionnel, Montréal.

- Léger (2022), *L'état de la numérisation des entreprises manufacturières au Québec*, Rapport remis au Ministère de l'Économie et de l'Innovation du Québec et à Investissement Québec, Montréal.
    - 2020, *Les PME québécoises et l'innovation en temps de pandémie*, en collaboration avec QuébecInnove, Montréal.
    - 2019, *L'industrie 4.0. Sondage auprès de PME québécoises du secteur manufacturier*, Montréal.
- Liu, Huju (2021), *Les résultats économiques associés à la numérisation au Canada au cours des 20 dernières années*, Statistique Canada, Rapports économiques et sociaux, en ligne : https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/36-28-0001/2021002/article/00001-fra.htm
- Liu, Huju et Julien McDonald-Guimond (2021), *Mesure de l'intensité numérique dans l'économie canadienne*, Statistique Canada, Rapports économiques et sociaux, Ottawa.
- Magazine MCi (2019), *Spécial Innovations. Automatisation : état de la situation*, vol. 27, no. 3, septembre.
- Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec (2016), *Feuille de route Industrie 4.0. – Plan d'action en économie numérique*, Québec.
- Next Generation Manufacturing Canada (2021), *Canada's Automation and Robotics Landscape*, Hamilton.
    - 2021, *Canada's Artificial Intelligence Landscape : Expert Opinions*, Hamilton.
    - 2021, *Canada's Additive Manufacturing Landscape*, Hamilton.
- Noël, Éric (2019), *Automatisation, nouveaux modèles d'affaires et emplois : une prospective québécoise*, Note de recherche, Institut du Québec, Montréal.
- OECD (2020), *Preparing for the Future of Work in Canada*, OECD Reviews on Local Job Creation, en ligne : https://www.oecd-ilibrary.org/employment/preparing-for-the-future-of-work-in-canada_05c1b185-en
- PRIMA Québec (2020), *Livre blanc sur la fabrication additive au Québec*, Montréal.
- Québec Quantique (2022), *Cartographie des acteurs de l'écosystème quantique du Québec*, en ligne : https://quebec-quantique.ca/wp-content/uploads/2021/10/Cartographie_Ecosysteme_Quantique_Automne_2021_FR.pdf
- Regroupement des entreprises en automatisation industrielle (2019), *La fabrication de pointe au Québec – Portrait 2019*, Montréal.

- Sous-traitance industrielle Québec (2022), *Baromètre industriel québécois STIQ 13e édition : un portrait unique du secteur manufacturier*, Montréal.
- Statistique Canada (2019), *Mesurer les activités économiques numériques au Canada : estimations initiales*, Les nouveautés en matière de comptes économiques canadiens, Ottawa.
- The Information and Communications Technology Council (2021), *Just Press Print: Canada's Additive Manufacturing Ecosystem*, Ottawa.
- Wyonch, Rosalie (2020), *The Next Wave : Automation and Canada's Labour Market*, C.D. Howe Institute, Commentary No. 585, Toronto.

Notes et références

[1] Tiré de ISQ (2021) « Effets de la pandémie sur les secteurs économiques et le PIB du Québec en 2020 », Québec.

[2] Notamment : organismes publics/gouvernementaux de développement économique et/ou de soutien aux exportations/investissements étrangers; organismes de finance entrepreneuriale et industrielle; fonds de capital de risque et de développement; organismes de R&D, de transfert, de valorisation et/ou de commercialisation des innovations (ex. CCTT); incubateurs et accélérateurs entrepreneuriaux; Bureaux de liaison entreprises-universités (BLEU) et groupes de recherche universitaire appliquée; regroupements manufacturiers et chambres de commerce; associations sectorielles et créneaux ACCORD; organismes de maillage industriel; organisations patronales et syndicales; comités sectoriels de main d'œuvre; pôles régionaux d'économie sociale.

[3] Voir notamment Global X Funds (2022); IFR (2021); IFR Statistical Department (2021); McKinsey (2020); BDC (2022); Frenette et Frank (2020c); KPMG (2022); Léger (2022, 2020); STIQ (2022).

[4] Voir IFR (2021).

[5] Oxford Economics (2019 : 4).

[6] Voir Frank, Yang et Frenette (2021).

[7] Voir Dixon (2020b, 2020c); Liu (2021).

[8] IFR Statistical Department (2021 : 29-31).

[9] Base de données, *International Federation of Robotics*. **Manutention et opération des machines** = coulage/moulage des métaux; moulage du plastique; estampage/forgeage/cintrage; opérations de manutention sur les machines-outils; opération des machines pour autres processus; mesures/inspections/tests; palettisation; emballage/prélèvement/placement; manutention des matériaux, etc. **Soudure/brasage** = soudage à l'arc, soudage par points, soudage au laser, brasage, etc. **Distribution/dispensation** = peinture et émaillage; application d'adhésifs, application de matériaux d'étanchéité; pulvérisation, etc. **Assemblage/Désassemblage =** montage, vissage, boulonnage, rivetage, clinchage/emboutissage, collage, recyclage, retrait des couvertures après traitement, etc. **Traitement/transformation** = découpe au laser; découpe au jet d'eau; découpe mécanique, meulage, ébavurage, etc. **Salles blanches =** robotique spécialisée pour la fabrication et l'assemblage des semi-conducteurs, des appareils à écrans plats et autres appareils électroniques.

[10] Base de données, *International Federation of Robotics*. Robot articulé = forte concentration dans l'industrie automobile. Robot SCARA = forte concentration dans l'industrie électronique. Robot cartésien/linéaire/à portique = forte concentration dans les industries des produits plastiques/caoutchoucs et de l'électronique. Robots parallèles/delta = forte concentration dans l'industrie des produits pharmaceutiques et médicaux ainsi que dans l'industrie de l'emballage. Robots cylindriques/sphériques = forte concentration dans l'industrie électronique (salles blanches).

[11] Voir notamment : https://guide.directindustry.com/fr/bien-choisir-un-robot-industriel/ ; https://www.hdautomatisme.com/blog/post/23-les-robots-dans-lindustrie-.html?page_type=post ; https://fr.wikipedia.org/wiki/Robotique_industrielle

[12] Base de données, *International Federation of Robotics*. Amérique du Nord = Canada, États-Unis et Mexique; Europe = continent européen incluant la Russie + Turquie + Israël; Asie du Sud-est = Chine, Inde, Indonésie, Japon, Corée du Sud, Malaisie, Singapour, Taïwan, Thaïlande, Vietnam, Laos, Cambodge, Myanmar, Brunei.

[13] Calculs des auteurs à partir de la base de données de l'IFR et des données de Statistique Canada sur les importations de robots industriels (SH 847950). En recoupant ces données avec celles de l'IFR (disponibles à partir de 2011 seulement pour le Canada), nous avons pu déterminer le coût moyen d'un robot industriel importé/installé au Canada. Puisque la très grande majorité des robots industriels installés au Canada sont importés, les données sur les importations et les installations sont considérées comme pratiquement correspondantes, ce qui a été démontré par Statistique Canada (voir Jay Dixon (2020), *How to build a Robots! Database*, Statistics Canada, Analytical Studies: Methods and References, no. 11-633-X – No. 028, Ottawa). Nous estimons pour notre part la proportion des robots importés à 85% des installations totales. Selon nos calculs, les réexportations sont marginales, représentant environ 5% du total des importations de robots industriels pour le Canada, l'Ontario et le Québec. Pour les années 2000 à 2010, nous utilisons le prix moyen des robots industriels tel qu'établi par ArkInvest, converti en dollars canadiens selon le taux de change annualisé correspondant.

[14] Voir IFR (2020).

[15] Source : Canada, Données sur le commerce en direct : https://www.ic.gc.ca/eic/site/tdo-dcd.nsf/fra/accueil

[16] Voir à ce sujet les travaux de Dixon (2020).

[17] Source : Canada, Données sur le commerce en direct : https://www.ic.gc.ca/eic/site/tdo-dcd.nsf/fra/accueil ; les creux de 2003 et 2005 pour l'Ontario correspondent à des sommets d'importations en Colombie-Britannique pour ces deux années.

[18] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec et l'Ontario sont approximatives et doivent être utilisées avec prudence. Elles ont été obtenues sur la base des calculs de l'auteur, à partir des données de Statistique Canada sur les importations de robots industriels. En recoupant ces données avec celles de l'IFR, nous avons pu déterminer le coût moyen d'un robot industriel importé/installé au Canada. Puisque la quasi-totalité des robots industriels installés au Canada sont importés, la production de robots au Canada étant marginale, les données sur les importations et les installations sont considérées comme correspondantes, ce qui est également l'approche utilisée par Statistique Canada (voir Jay Dixon (2020), *How to build a Robots! Database*, Statistics Canada, Analytical Studies: Methods and References, no. 11-633-X – No. 028, Ottawa). Nous estimons pour notre part la proportion des robots importés à 85% des installations totales. En divisant le montant total des importations annuelles de robots industriels de l'Ontario et du Québec par ce coût moyen, nous avons pu estimer le nombre d'installations annuelles (importées et totales) pour chaque province.

[19] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Canada, le Québec et l'Ontario sont approximatives et doivent être utilisées avec prudence. Elles ont été obtenues sur la base des calculs des auteurs, à partir des données de Statistique Canada sur les importations de robots industriels. En recoupant ces données avec celles de l'IFR (disponibles à partir de 2011 seulement pour le Canada), nous avons pu déterminer le coût moyen d'un robot industriel importé/installé au Canada. Puisque la quasi-totalité des robots industriels installés au Canada sont importés, les données sur les importations et les installations sont considérées comme pratiquement correspondantes, ce qui est également l'approche utilisée par Statistique Canada (voir Jay Dixon (2020), *How to build a Robots! Database*, Statistics Canada, Analytical Studies: Methods and References, no. 11-633-X – No. 028, Ottawa). Nous estimons pour notre part la proportion des robots importés à 85% des installations totales. Selon nos calculs,

les réexportations sont marginales, représentant environ 5% du total des importations de robots industriels pour le Canada, l'Ontario et le Québec. Pour les années 2000 à 2010, nous utilisons le prix moyen des robots industriels tel qu'établi par ArkInvest, converti en dollars canadiens selon le taux de change annualisé correspondant. En divisant le montant total des importations annuelles de robots industriels de l'Ontario et du Québec par ce coût moyen, nous avons pu estimer le nombre d'installations annuelles (importées et totales) pour chaque province et, à partir de cette donnée, le stock cumulatif de robots opérationnels pour ces deux provinces également (considérant, comme l'IFR et Statistique Canada, une durée de vie utile de douze ans par robot industriel).

[20] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec et l'Ontario sont approximatives et doivent être utilisées avec prudence. Elles ont été obtenues sur la base des calculs des auteurs, à partir des données de Statistique Canada sur les importations de robots industriels. En recoupant ces données avec celles de l'IFR (disponibles à partir de 2011 seulement pour le Canada), nous avons pu déterminer le coût moyen d'un robot industriel importé/installé au Canada. Puisque la quasi-totalité des robots industriels installés au Canada sont importés, les données sur les importations et les installations sont considérées comme pratiquement correspondantes, ce qui est également l'approche utilisée par Statistique Canada (voir Jay Dixon (2020), *How to build a Robots! Database*, Statistics Canada, Analytical Studies: Methods and References, no. 11-633-X – No. 028, Ottawa). Nous estimons pour notre part la proportion des robots importés à 85% des installations totales. Selon nos calculs, les réexportations sont marginales, représentant environ 5% du total des importations de robots industriels pour le Canada, l'Ontario et le Québec. Pour les années 2000 à 2010, nous utilisons le prix moyen des robots industriels tel qu'établi par ArkInvest, converti en dollars canadiens selon le taux de change annualisé correspondant. En divisant le montant total des importations annuelles de robots industriels de l'Ontario et du Québec par ce coût moyen, nous avons pu estimer le nombre d'installations annuelles (importées et totales) pour chaque province et, à partir de cette donnée, le stock cumulatif de robots opérationnels pour ces deux provinces également (considérant, comme l'IFR et Statistique Canada, une durée de vie utile de douze ans par robot industriel). Ce stock cumulatif nous a permis d'établir la part respective du Québec et de l'Ontario.

[21] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Canada, le Québec et l'Ontario sont approximatives et doivent être utilisées avec prudence. Elles ont été obtenues sur la base des calculs des auteurs, à partir des données de Statistique Canada sur les importations de robots industriels. En recoupant ces données avec celles de l'IFR, nous avons pu déterminer le coût moyen d'un robot industriel importé/installé au Canada. Puisque la quasi-totalité des robots industriels installés au Canada sont importés, les données sur les importations et les installations sont considérées comme pratiquement correspondantes, ce qui est également l'approche utilisée par Statistique Canada (voir Jay Dixon (2020), *How to build a Robots! Database*, Statistics Canada, Analytical Studies: Methods and References, no. 11-633-X – No. 028, Ottawa). Nous estimons pour notre part la proportion des robots importés à 85% des installations totales. Selon nos calculs, les réexportations sont marginales, représentant environ 5% du total des importations de robots industriels pour le Canada, l'Ontario et le Québec. En divisant le montant total des importations annuelles de robots industriels de l'Ontario et du Québec par ce coût moyen, nous avons pu estimer le nombre d'installations annuelles (importées et totales) pour chaque province et à partir de cette donnée, le stock cumulatif de robots opérationnels pour ces deux provinces également (considérant, comme l'IFR et Statistique Canada, une durée de vie utile de douze ans par robot industriel). Pour estimer le stock de robots industriels opérationnels des secteurs manufacturiers ontarien et québécois, nous avons appliqué à ces deux provinces la même proportion attribuable au Canada dans son ensemble selon les données de l'IFR.

[22] Les données 2016 à 2019 ont été extrapolées pour les États-Unis, de même que l'année 2019 pour le Royaume-Uni. Sources : OCDE, SDBS Structural Business Statistics (ISIC Rev. 4) https://stats.oecd.org/index.aspx?DataSetCode=SSIS_BSC_ISIC4 ; Eurostat, Statistiques annuelles des entreprises

pour des agrégats spéciaux d'activité (NACE Rév. 2). https://ec.europa.eu/eurostat/fr/web/products-datasets/product?code=sbs_na_sca_r2 ; Statista pour l'ensemble du manufacturier pour la Chine, *Number of industrial enterprises in China between 2010 and 2020* : https://www.statista.com/statistics/232313/number-of-industrial-enterprises-in-china/

[23] Extrapolations à partir des années précédentes pour les années 2018 et 2019 en France et en Italie.

Sources : Pour le Québec, l'Ontario et le Canada : Statistique Canada. Tableau 14-10-0202-01, *Emploi selon l'industrie, données annuelles* (https://doi.org/10.25318/1410020201-fra). Pour les 6 autres pays : OCDE, STAN pour l'Analyse Structurelle éd. 2020 (https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STANI4_2020&lang=fr)

[24] Sources : Pour le Québec, l'Ontario et le Canada : Statistique Canada. Tableau 36-10-0487-01, Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, selon le secteur et l'industrie, provinciaux et territoriaux (https://doi.org/10.25318/3610048701-fra). Pour les autres pays : OCDE, STAN pour l'Analyse Structurelle éd. 2020. (https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STANI4_2020&lang=fr)

[25] Sources : Pour le Québec, l'Ontario et le Canada : Statistique Canada Tableau 36-10-0487-01, Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, selon le secteur et l'industrie, provinciaux et territoriaux (https://doi.org/10.25318/3610048701-fra). Pour les autres pays : OCDE, STAN pour l'Analyse Structurelle éd. 2020. (https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STANI4_2020&lang=fr)

[26] Sources : Pour le Québec, l'Ontario et le Canada : Statistique Canada Tableau 36-10-0487-01, Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, selon le secteur et l'industrie, provinciaux et territoriaux (https://doi.org/10.25318/3610048701-fra). Pour les autres pays : OCDE, STAN pour l'Analyse Structurelle éd. 2020. (https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STANI4_2020&lang=fr)

[27] La variable « emploi » désigne le nombre de salariés et il peut s'agir de temps plein ou de temps partiel. Bien qu'imparfaite, cette mesure fournit un indice de la productivité du travail des salariés. À utiliser avec prudence.

[28] Sources : Banque mondiale, Exportations de haute technologie (% des exportations de biens manufacturés), https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/TX.VAL.TECH.MF.ZS. Pour le Québec : ISQ. Commerce international québécois et canadien par niveau technologique (https://statistique.quebec.ca/commerce-international/#/cti).

[29] Extrapolations à partir des données de 2011-2016 pour l'ensemble des juridictions. Sources : Statistique Canada, Tableau 12-10-0100-01, Valeur ajoutée des exportations, selon les industries, provinciaux et territoriaux (https://doi.org/10.25318/1210010001-fra); OCDE pour le Canada et les autres pays. Les données pour le Québec et l'Ontario ont été adaptées aux données canadiennes de l'OCDE sur une base proportionnelle, à partir des données de Statistique Canada.

[30] Extrapolations à partir des données de 2011-2016 pour l'ensemble des juridictions. Sources : Statistique Canada, Tableau 12-10-0100-01, Valeur ajoutée des exportations, selon les industries, provinciaux et territoriaux (https://doi.org/10.25318/1210010001-fra); OCDE pour le Canada et les autres pays. Les données pour le Québec et l'Ontario ont été adaptées aux données canadiennes de l'OCDE sur une base proportionnelle, à partir des données de Statistique Canada.

[31] Extrapolations à partir des données de 2011-2016 pour l'ensemble des juridictions. Sources : Statistique Canada, Tableau 12-10-0100-01, Valeur ajoutée des exportations, selon les industries, provinciaux et territoriaux (https://doi.org/10.25318/1210010001-fra); OCDE pour le Canada et les autres pays (https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=TIVA_2018_C1&lang=fr). Les données pour le Québec et l'Ontario ont été adaptées aux données canadiennes de l'OCDE sur une base proportionnelle, à partir des données de Statistique Canada.

[32] Les données de l'année 2019 pour le Canada et la France ont été obtenues à l'aide d'extrapolations sur la bases des données antérieures. Moyenne des parts précédentes pour estimer les sous-secteurs manufacturiers de l'Allemagne (2019) à partir de la donnée manufacturière 2019 de l'OCDE. Les données du Québec et de l'Ontario pour 2014-2019 ont été estimées à partir des parts respectives qu'occupent les sous-secteurs manufacturiers dans la R&D intra-muros, appliquées aux données canadiennes recensées par l'OCDE. Sources : Statistique Canada Tableau 27-10-0341-01 , Caractéristiques des entreprises au titre de la recherche et développement intra-muros, selon le groupe d'industries basé sur le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), le pays de contrôle et les provinces et territoires (https://doi.org/10.25318/2710034101-fra) ; OCDE, ANBERD : base de données analytique des dépenses en R-D dans l'industrie (https://stats.oecd.org/Index.aspx?lang=fr&DataSetCode=ANBERD_REV4).

[33] Sources : pour le Québec, l'Ontario et le Canada : Statistique Canada, Tableau 36-10-0096-01, Flux et stocks de capital fixe non résidentiel, selon l'industrie et le type d'actif, Canada, provinces et territoires (https://doi.org/10.25318/3610009601-fra) ; pour les autres pays : OCDE, STAN Indicateurs structurels (iSTAN) éd. 2022 (https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=ISTAN_2022).

[34] Secteurs manufacturiers de faible technologie : textiles/vêtements/cuir, agroalimentaire, pâtes et papiers, meubles et autres produits du bois. Secteurs manufacturiers de moyenne-faible technologie : métallurgie, produits métalliques de base (hors machines et matériel), produits minéraux non-métalliques, produits en caoutchouc/plastique, cokéfaction et raffinage, construction navale. Secteurs manufacturiers de moyenne-haute technologie : machinerie industrielle et équipement, matériel ferroviaire roulant et autres matériels de transport (hors aéronautique et spatial), véhicules automobiles, remorques et semi-remorques, matériel électrique, produits chimiques. Secteur de haute technologie : produits et préparations pharmaceutiques, construction aéronautique et spatiale, ordinateurs et équipements périphériques, produits électroniques et d'optique, instruments scientifiques. Voir : https://statistique.quebec.ca/commerce-international/#/cti

[35] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec et l'Ontario sont approximatives et doivent être utilisées avec prudence. Elles ont été obtenues sur la base des calculs de l'auteur, à partir des données de Statistique Canada sur les importations de robots industriels. En recoupant ces données avec celles de l'IFR, nous avons pu déterminer le coût moyen d'un robot industriel importé/installé au Canada. Puisque la quasi-totalité des robots industriels installés au Canada sont importés, la production de robots au Canada étant marginale, les données sur les importations et les installations sont considérées comme correspondantes, ce qui est également l'approche utilisée par Statistique Canada (voir Jay Dixon (2020), *How to build a Robots! Database*, Statistics Canada, Analytical Studies: Methods and References, no. 11-633-X – No. 028, Ottawa). Nous estimons pour notre part la proportion des robots importés à 85% des installations totales. En divisant le montant total des importations annuelles de robots industriels de l'Ontario et du Québec par ce coût moyen, nous avons pu estimer le nombre d'installations annuelles (importées et totales) pour chaque province. Pour estimer le nombre d'installations de robots industriels des secteurs manufacturiers ontarien et québécois, nous avons appliqué à ces deux provinces la même proportion attribuable au Canada dans son ensemble selon les données de l'IFR.

[36] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Canada, le Québec et l'Ontario sont approximatives et doivent être utilisées avec prudence. Elles ont été obtenues sur la base des calculs des auteurs, à partir des données de Statistique Canada sur les importations de robots industriels. En recoupant ces données avec celles de l'IFR, nous avons pu déterminer le coût moyen d'un robot industriel importé/installé au Canada. Puisque la quasi-totalité des robots industriels installés au Canada sont importés, les données sur les importations et les installations sont considérées comme pratiquement correspondantes, ce qui est également l'approche utilisée par Statistique Canada (voir Jay Dixon (2020), *How to build a Robots! Database*, Statistics Canada, Analytical Studies: Methods and References, no. 11-633-X – No. 028, Ottawa). Nous estimons pour notre part la proportion des robots importés à 85% des installations totales. Selon nos calculs, les réexportations sont marginales, représentant environ 5% du total des importations de robots industriels pour le Canada, l'Ontario et le Québec. En divisant le montant total des importations annuelles de robots industriels de l'Ontario et du Québec par ce coût moyen, nous avons pu estimer le nombre d'installations annuelles (importées et totales) pour chaque province et à partir de cette donnée, le stock cumulatif de robots opérationnels pour ces deux provinces également (considérant, comme l'IFR et Statistique Canada, une durée de vie utile de douze ans par robot industriel). Pour estimer le stock de robots industriels opérationnels des secteurs manufacturiers ontarien et québécois, nous avons appliqué à ces deux provinces la même proportion attribuable au Canada dans son ensemble selon les données de l'IFR.

[37] Base de données, *International Federation of Robotics*; Statistique Canada, *Emplois selon l'industrie, données annuelles – Tableau 14-10-0202-01*. Les données pour le Canada, l'Ontario et le Québec sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution.

[38] Base de données, *International Federation of Robotics*. Les données pour le Canada et l'Ontario sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution.

[39] Base de données, *International Federation of Robotics*; Statistique Canada, *Emplois selon l'industrie, données annuelles – Tableau 14-10-0202-01*. Les données pour le Canada sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution. Les données pour l'Ontario ont été estimées en attribuant à cette province une part des robots industriels canadiens du secteur automobile correspondant à la part ontarienne des emplois canadiens totaux de ce secteur (en moyenne, 82% entre 2011 et 2020).

[40] Puisque le secteur particulier des *pièces* automobiles présent au Québec est notoirement beaucoup moins robotisé que celui de l'assemblage, présent dans tous les autres pays étudiés ainsi qu'en Ontario, mais aussi puisqu'il ne nous est pas possible d'obtenir les données de densité longitudinales pour ce secteur des pièces québécois, nous reprenons ici aux fins de la comparaison la densité robotique du secteur manufacturier québécois dans son ensemble.

[41] Sources : pour le Québec (ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*); pour la Chine (CEES Research Team, 2017, « How are Chinese Manufacturing Firms Coping with Rising Labor Costs? A Report of China Employer-Employee Survey (CEES) 2015-2016 », *Institute of Quality Development Strategy*, Wuhan University, Wuhan); pour la Zone Euro et les pays européens (Eurostat, *Utilisation de l'impression 3D et de la robotique*); pour les États-Unis et les États (*Annual Survey of Manufactures – Industrial Robotic Equipment 2018*, United States Census Bureau). Les données sur le Québec sont pour toutes les entreprises et pour 2020. Les données sur la Zone Euro et les pays européens sont pour les entreprises de 10 employés ou plus et pour 2020. Les données sur les États-Unis sont pour toutes les entreprises et pour 2018. Les données sur la Chine sont pour toutes les entreprises et pour 2016. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution. Dans le cas du Québec, la définition utilisée par l'ISQ est la suivante : « utilisation de machines automatiques ou de robots pour effectuer des tâches, par exemple dans le cadre d'un procédé de

fabrication ou dans un environnement difficile pour l'humain (dangereux, pollué, etc.) ». Voir : https://statistique.quebec.ca/fr/fichier/enquete-integration-internet-processus-affaires-cahier-technique-methodologique-2020.pdf

[42] Source : ISQ (2020), *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, Québec.

[43] https://statistique.quebec.ca/fr/document/investissements-dans-les-technologies-de-information-et-des-communications-tic-entreprises/tableau/part-des-entreprises-qui-ont-effectue-des-depenses-pour-lacquisition-ou-le-developpement-de-tic-quebec#pivot_1=Toutes%20les%20entreprises

[44] https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV_f.pl?Function=getSurvey&Id=1260908

[45] Source : Statistique Canada, Raisons de ne pas avoir adopté ou utilisé des technologies de pointe, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0368-01. Les données sont pour 2019 et pour les entreprises de 20 employés ou de 250 000$ de chiffres d'affaires et plus. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[46] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies de pointe ou émergente, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0367-01. Les données sont pour 2019 et pour les entreprises de 20 employés ou de 250 000$ de chiffres d'affaires et plus. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

Exemples de technologies de manutention, chaîne d'approvisionnement et logistique : logiciels de gestion des relations avec les clients; logiciels de prévision/planification de la demande; systèmes de gestion du transport; systèmes de gestion des entrepôts; systèmes de collaboration et de visibilité de la chaîne d'approvisionnement; stockage automatisé et systèmes de récupération; identification des produits et pièces automatisée; identification par radio-fréquences. Voir ISQ (2016), *L'utilisation des technologies de pointe dans les entreprises au Québec*, Québec.

Exemples de technologies de conception et de contrôle de l'information : tableaux de bord pour analyse ou prise de décisions; logiciels de traitement de données à grande échelle; technologies de traitement de flux ou de surveillance en temps réel; logiciels en tant que services (SaaS); infrastructures en tant que services; développement de produits virtuels ou logiciels de modélisation y compris conception assistée par ordinateur (CAO), ingénierie par ordinateur (IAO), fabrication assistée par ordinateur (CAM); progiciels de gestion intégrée; systèmes d'exécution de la fabrication; intégration de résultats de qualité avec des progiciels de gestion et de contrôle; planification des ressources de production (MRP II); réseaux informatiques interentreprises dont extranet et échange électronique des données (EDI); communications sans-fil pour la production; réseau intégré de capteurs; systèmes automatisés pour inspection; systèmes aériens sans pilote (drones). Voir ISQ (2016), *L'utilisation des technologies de pointe dans les entreprises au Québec*, Québec.

Exemples de technologies de traitement et de fabrication : cellules de fabrication flexibles (FMC) ou systèmes de fabrication flexible (FMS); lasers utilisés dans le traitement des matériaux; robots munis de capteurs ou systèmes de vision; robots dépourvus de capteurs ou systèmes de vision; ordinateur (contrôleur) de 4-9 axes à commande numérique; machines automatisées pour le tri, le transport ou l'assemblage de pièces; pulvérisation par plasma (table de découpe au plasma); systèmes de micro-électrique-mécaniques (MEMS). Voir ISQ (2016), *L'utilisation des technologies de pointe dans les entreprises au Québec*, Québec.

[47] Il est néanmoins à noter ici que l'IRÉC a déjà, plus tôt en 2022, identifié certains problèmes et certaines incohérences concernant l'empreinte carbone des différents secteurs industriels québécois. Voir : https://irec.quebec/ressources/publications/EmpreinteCarbone-V3.pdf

[48] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies propres, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0369-01. Les données sont pour 2019 et pour les entreprises de 20 employés ou de 250 000$ de chiffres d'affaires et plus. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[49] https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/sous-secteur/conception-de-systemes-informatiques/infonuagique/

[50] Sources : pour le Québec par niveau technologique (ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020); pour le Canada, l'UE et les pays européens (OCDE, *Dataset: ICT Access and Usage by Businesses*). Toutes les données sont pour toutes les entreprises et pour 2020 sauf indication contraire. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[51] Sources : pour le Québec par niveau technologique (ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020); pour l'Ontario et le Canada (Statistique Canada, *Utilisation de technologies de pointe ou émergente selon l'industrie et la taille de l'entreprise – Tableau 27-10-0367-01,* 2017-2019); pour la Zone Euro et les pays européens (Eurostat, *Intelligence artificielle*); pour le Japon (OCDE, *Dataset: ICT Access and Usage by Businesses*). Les données sur le Québec (par niveau technologique) sont pour toutes les entreprises et pour 2020. Les données sur l'Ontario et le Canada sont pour 2019 et pour les entreprises de 20 employés ou de 250 000$ de chiffres d'affaires et plus. Les données sur la Zone Euro et les pays européens sont pour les entreprises de 10 employés ou plus et pour 2021. Les données sur le Japon sont pour toutes les entreprises et pour 2019. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[52] Sources : pour le Québec par niveau technologique (ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020); pour la Zone Euro et les pays européens sauf le Royaume-Uni (Eurostat, *Analyses de données massives – Big Data*); pour le Japon, le Royaume-Uni et le Canada (OCDE, *Dataset: ICT Access and Usage by Businesses*). Les données sur le Québec (par niveau technologique) sont pour toutes les entreprises et pour 2020. Les données sur la Zone Euro et les pays européens sauf le Royaume-Uni sont pour les entreprises de 10 employés ou plus et pour 2021. Les données sur le Japon, le Royaume-Uni et le Canada sont pour toutes les entreprises et pour 2019. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[53] Sources : pour le Québec par niveau technologique (ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020); pour l'Ontario et le Canada (Statistique Canada, *Utilisation de technologies de pointe ou émergente selon l'industrie et la taille de l'entreprise – Tableau 27-10-0367-01,* 2017-2019); pour la Zone Euro et les pays européens (Eurostat, *Intelligence artificielle*); pour les États-Unis et les États (*Annual Business Survey – Digital Technology Module 2018 Table 3A: Business Technologies by 3-digit NAICS for the United States and States*, United States Census Bureau); pour le Japon (OCDE, *Dataset: ICT Access and Usage by Businesses*). Les données sur le Québec (par niveau technologique) sont pour toutes les entreprises et pour 2020. Les données sur l'Ontario et le Canada sont pour 2019 et pour les entreprises de 20 employés ou de 250 000$ de chiffres d'affaires et plus. Les données sur la Zone Euro et les pays européens sont pour les entreprises de 10 employés ou plus et pour 2021. Les données sur le Japon sont pour toutes les entreprises et pour 2017. Les données sur les États-Unis sont pour toutes les entreprises

et pour 2017. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[54] https://www.scaleai.ca/fr/a-propos/

[55] Voir à ce sujet : https://irec.quebec/ressources/publications/20220224-Economie-numerique-VF6.pdf

[56] Voir EY (2019).

[57] Voir PRIMA Québec (2020).

[58] Ibid, p. 9.

[59] PRIMA Québec (2020 : 24).

[60] Sources : pour le Québec par niveau technologique (ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020); pour l'Ontario et le Canada (Statistique Canada, *Utilisation de technologies de pointe ou émergente selon l'industrie et la taille de l'entreprise – Tableau 27-10-0367-01,* 2017-2019); pour la Zone Euro et les pays européens (Eurostat, *Utilisation de l'impression 3D et de la robotique*); pour le Japon (OCDE, *Dataset: ICT Access and Usage by Businesses*). Les données sur le Québec (par niveau technologique) sont pour toutes les entreprises et pour 2020. Les données sur l'Ontario et le Canada sont pour 2019 et pour les entreprises de 20 employés ou de 250 000$ de chiffres d'affaires et plus. Les données sur la Zone Euro et les pays européens sont pour les entreprises de 10 employés ou plus et pour 2020. Les données sur le Japon sont pour toutes les entreprises et pour 2019. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[61] Ibid., p. 31.

[62] https://www.youtube.com/watch?v=YqZ-hfE0Cm4&ab_channel=3M

[63] IFR Statistical Department (2021).

[64] https://www.chemengonline.com/wp-content/uploads/2017/05/ce_abb-report_042117_final.pdf

[65] EY (2019).

[66] https://www.processingmagazine.com/home/article/15586885/how-3d-printing-will-energize-the-chemical-industry

[67] https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/dyneon-invests-3d-laboratory-printer-polymers/

[68] https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/3m-develops-3d-printing-ptfe-parts/; https://www.makepartsfast.com/3m-enters-the-additive-manufacturing-industry-with-new-material-also-offers-contract-manufacturing/

[69] https://multimedia.3m.com/mws/media/1547162O/3m-dyneon-fluoropolymers-3d-printing-brochure.pdf

[70] Les données de 2016 à 2019 ont été extrapolées à partir des années précédentes pour les États-Unis, de même que l'année 2019 pour le Royaume-Uni et la Chine. Puisque le secteur de l'automobile se concentre très fortement en Ontario, on estime le nombre d'entreprises en supposant que leur distribution suit celle du PIB. Sources : voir équivalent au Chapitre 1.

[71] Extrapolation à partir des années précédentes pour les données de 2018 et 2019 de la France et de l'Italie. Sources : voir équivalent au Chapitre 1.

[72] Extrapolation pour l'année 2019 de l'Ontario, du Canada, de la France et de l'Italie.

Source : Pour le Québec, l'Ontario et le Canada : Statistique Canada. Tableau 36-10-0487-01 Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, selon le secteur et l'industrie, provinciaux et territoriaux (x 1 000 000). DOI : https://doi.org/10.25318/3610048701-fra. Pour les autres pays l'OCDE. STAN pour l'Analyse Structurelle éd. 2020. https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STANI4_2020&lang=fr

[73] Les données de 2019 pour l'Ontario et le Canada sont le résultat d'une extrapolation à partir des années précédentes, de même que les données pour 2016 à 2019 des autres territoires. Sources : voir équivalent Chapitre 1.

[74] Les données de l'année 2019 pour le Canada, la France et l'Allemagne ont été obtenues à l'aide d'extrapolations sur la base des années précédentes. Les données de l'Ontario ont été estimées à partir des données de l'OCDE pour le Canada (2014 à 2019). À utiliser avec prudence. Sources : voir équivalent Chapitre 1.

[75] Les données de 2019 pour l'Allemagne ont été extrapolées à partir des années précédentes. Les données pour l'Ontario sont pondérées par le PIB à partir des données de l'OCDE pour le Canada. À utiliser avec prudence. Sources : voir équivalent Chapitre 1.

[76] Base de données, *International Federation of Robotics*. * Les données pour le Canada/Ontario et le Québec sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution. Les données pour l'Ontario ont été estimées en attribuant à cette province une part des robots industriels canadiens du secteur automobile correspondant à la part ontarienne des emplois canadiens totaux de ce secteur (en moyenne, 82% entre 2011 et 2020). Puisque l'industrie « automobile » du Québec est très fortement concentrée dans le sous-secteur des pièces, largement moins automatisé que celui des usines d'assemblage ontariennes, et que le Québec ne dispose d'aucune usine d'assemblage, nous avons usé de la même méthode tout en ne lui octroyant l'équivalent que de 15% du stock robotique en proportion de sa part des emplois canadiens du secteur automobile (ce qui correspond à l'écart de 85% entre la densité robotique du manufacturier canadien dans son ensemble et du secteur automobile canadien).

[77] Voir notamment Krzywdzinski (2020).

[78] Base de données, *International Federation of Robotics*.

[79] Base de données, *International Federation of Robotics*.

[80] Base de données, *International Federation of Robotics*. Les données pour le Canada et l'Ontario sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution. Les données pour l'Ontario ont été estimées en attribuant à cette province une part des robots industriels canadiens du secteur automobile

correspondant à la part ontarienne des emplois canadiens totaux de ce secteur (en moyenne, 82% entre 2011 et 2020).

[81] Voir par exemple : https://www.journaldemontreal.com/2022/05/24/deux-fois-plus-pour-lauto-que-pour-laero

[82] https://www.ontario.ca/page/driving-prosperity-future-ontarios-automotive-sector

[83] https://www.investontario.ca/automotive

[84] Base de données, *International Federation of Robotics*. Les données pour le Canada/Ontario et le Québec sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution. Les données pour l'Ontario ont été estimées en attribuant à cette province une part des robots industriels canadiens du secteur automobile correspondant à la part ontarienne des emplois canadiens totaux de ce secteur (en moyenne, 82% entre 2011 et 2020). Puisque l'industrie « automobile » du Québec est très fortement concentrée dans le sous-secteur des pièces, largement moins automatisé que celui des usines d'assemblage ontariennes, et que le Québec ne dispose d'aucune usine d'assemblage, nous avons usé de la même méthode tout en ne lui octroyant l'équivalent que de 15% du stock robotique en proportion de sa part des emplois canadiens du secteur automobile (ce qui correspond à l'écart de 85% entre la densité robotique du manufacturier canadien dans son ensemble et du secteur automobile canadien).

[85] Base de données, *International Federation of Robotics*; Statistique Canada, *Emplois selon l'industrie, données annuelles – Tableau 14-10-0202-01*. Les données pour le Canada/Ontario et le Québec sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution. Les données pour l'Ontario ont été estimées en attribuant à cette province une part des robots industriels canadiens du secteur automobile correspondant à la part ontarienne des emplois canadiens totaux de ce secteur (en moyenne, 82% entre 2011 et 2020). Puisque l'industrie « automobile » du Québec est très fortement concentrée dans le sous-secteur des pièces, largement moins automatisé que celui des usines d'assemblage ontariennes, et que le Québec ne dispose d'aucune usine d'assemblage, nous avons usé de la même méthode tout en ne lui octroyant l'équivalent que de 15% du stock robotique en proportion de sa part des emplois canadiens du secteur automobile (ce qui correspond à l'écart de 85% entre la densité robotique du manufacturier canadien dans son ensemble et du secteur automobile canadien).

[86] Reshetnikova et al. (2021).

[87] IFR Statistical Department (2021).

[88] IFR Statistical Department (2021).

[89] https://inf.news/en/auto/ba8b72ab541a0aeeadf65a38647b4424.html

[90] https://daydaynews.cc/en/technology/633162.html

[91] https://inf.news/en/auto/ba8b72ab541a0aeeadf65a38647b4424.html

[92] https://www.youtube.com/watch?v=1lXsuF9rGcg&ab_channel=iChongqing;

[93] https://www.ichongqing.info/2021/08/20/changan-automobile-opens-era-of-software-defined-cars/; https://inf.news/en/auto/ba8b72ab541a0aeeadf65a38647b4424.html

[94] https://lahoreherald.com/latest/30337-changan-plans-to-launch-all-electric-vehicles-in-5-years/

[95] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies de pointe ou émergente, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0367-01. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[96] Les données 2016 à 2019 ont été extrapolées à partir des années précédentes pour les États-Unis, de même que l'année 2019 pour le Royaume-Uni et la Chine (seulement pour les sous-secteurs dans le cas de la Chine). Le nombre d'entreprises des autres matériels de transport (aéronautique, naval, ferroviaire, autres) a été pondéré par le PIB pour le Québec, l'Ontario et le Canada à partir des données de l'OCDE. Sources : equivalent Chapitre 1.

[97] Extrapolation à partir des années précédentes pour 2018 et 2019 en France et en Italie. Sources : équivalent Chapitre 1.

[98] Sources : équivalent Chapitre 1.

[99] Les données de 2019 pour le Québec, l'Ontario et le Canada sont le résultat d'une extrapolation à partir des années précédentes, de même que les données pour 2016 à 2019 des autres territoires. Les données de l'OCDE pour le Canada ont été pondérées à partir des données de Statistique Canada pour estimer les balances du Québec et de l'Ontario. Sources : équivalent Chapitre 1.

[100] Les données de l'année 2019 pour Canada et la France ont été obtenues à l'aide d'extrapolations à partir des années précédentes. Les données du Québec et de l'Ontario ont été estimées à partir des parts respectives qu'ils occupent dans la R&D intra-muros recensée par Statistique Canada, appliquées aux données de l'OCDE pour le Canada. Sources : équivalent Chapitre 1.

[101] La donnée de l'OCDE pour le Canada est pondérée par le PIB dans les cas du Québec et de l'Ontario. À utiliser avec prudence. Sources : équivalent Chapitre 1.

[102] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020).

[103] https://statistique.quebec.ca/commerce-international/hkc-2018.php?cacheTime=1656945001720&lang=36&productType=SIC&reportType=TB&timePeriod=15|Complete%20

Years&periodString=&naArea=P24&countryList[]=ALL&currency=CDN&searchType=BL&hSelectedCodes=1110&grouped=INDIVIDUAL&runReport.x=Produire%20rapport&toFromCountry=CDN

[104] https://www.automate.org/blogs/aerospace-robots-the-4-major-challenges-facing-robot-users-and-integrators

Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[106] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[107] Voir : https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/secteurs/aerospatiale/presentation-de-lindustrie-de-laerospatiale/

[108] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies de pointe ou émergente, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0367-01. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[109] Propos du Président de Les Industries Leesta Ltée., recueillis par les auteurs le 16 juin 2022.

[110] IFR Statistical Department (2021).

[111] IFR Statistical Department (2021).

[112] IFR Statistical Department (2021).

[113] https://www.insee.fr/fr/statistiques/5896539

[114] https://industrie.usinenouvelle.com/classement/soussecteur-129

[115] https://www.lejsl.com/edition-du-creusot/2012/06/25/75-000-disques-en-25-ans

[116] https://www.usinenouvelle.com/article/safran-investit-25-millions-d-euros-au-creusot.N213481

[117] https://pdf.aeroexpo.online/pdf/machining-centers-manufacturing-spa/tankg/170103-9694.html#open41472

[118] https://www.gazettebourgogne.fr/article/lindustrie-du-futur-attend-son-decollage

[119] https://www.usinenouvelle.com/article/usine-de-l-annee-au-creusot-safran-allie-l-humain-au-4-0.N2003887

[120] https://www.statista.com/statistics/456342/realtive-comparison-of-value-added-in-manufacturing-of-leading-countries/

[121] IFR Statistical Department (2021).

[122] Germany Trade & Invest (2022).

[123] https://www.gtai.de/en/invest/industries/mobility/aerospace

[124] https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2019-10-airbus-inaugurates-new-a320-structure-assembly-line-in-hamburg; https://www.usinenouvelle.com/article/des-robots-pour-l-a320-airbus-pousse-l-automatisation-a-hambourg.N1816177; https://roboticsandautomationnews.com/2019/10/08/special-feature-tour-of-airbus-advanced-manufacturing-facility-in-germany/26204/

[125] https://roboticsandautomationnews.com/2019/10/08/special-feature-tour-of-airbus-advanced-manufacturing-facility-in-germany/26204/

[126] https://hamburg-news.hamburg/en/location/foundation-stone-laid-new-airbus-assembly-factory-hamburg

[127] Extrapolation à partir des années précédentes pour les États-Unis (2016 à 2019), puis pour le Royaume-Uni et la Chine (2019). Sources : équivalent Chapitre 1.

[128] Extrapolations à partir des années précédentes pour 2018 et 2019 en France et en Italie. Sources : équivalent chapitre 1.

[129] Extrapolations à partir des années précédentes pour l'année 2019 au Québec, en Ontario, au Canada, en France et en Italie. Sources : équivalent Chapitre 1.

[130] Sources : équivalent Chapitre 1.

[131] Les données de 2019 pour le Québec, l'Ontario et le Canada sont le résultat d'une extrapolation à partir des années précédentes, de même que les données pour 2016 à 2019 des autres territoires. Sources : équivalent Chapitre 1.

[132] Les données de l'année 2019 pour le Canada et la France ont été obtenues à l'aide d'extrapolations à partir des années précédentes. Les données du Québec et de l'Ontario ont été estimées à partir des parts respectives qu'ils occupent dans la R&D intra-muros recensée par Statistique Canada, appliquées aux données de l'OCDE pour le Canada. Les données pour la période 2010 à 2013 au Québec proviennent de l'*Enquête sur la recherche et le développement dans l'industrie canadienne* de Statistique Canada. Les données de 2014 à 2019 ne sont plus comparables avec celles des années antérieures. À utiliser avec prudence. Sources : équivalent Chapitre 1.

[133] Sources : équivalent Chapitre 1.

[134] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020).

[135] IFR Statistical Department (2021).

[136] Base de données, *International Federation of Robotics*. Les données pour le Canada sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution.

[137] https://www.ai-lati.eu/2020/06/08/the-innovation-will-drive-the-new-italian-agri-food-ecosystem/ ; https://www.gamberorossointernational.com/top-italian-food/italys-recovery-plan-the-next-level-of-agrifood/

[138] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie

(voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[139] Base de données, *International Federation of Robotics*; OCDE.Stat (EMPE – Emploi salarié); China Statistical Yearbook (private + state-holding enterprises). Toutes les données sont approximatives et doivent être utilisées avec précaution. Les années manquantes pour certains pays (2019 et parfois 2018 également) ont été complétées en fonction de la tendance (croissance/décroissance moyenne de l'emploi sectoriel) des années précédentes. Nous nous arrêtons à l'année 2019 en raison des facteurs de déstabilisation de la crise sanitaire sur l'emploi en 2020. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[140] https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Transformation/md/recherche/aliments/Pages/aliments.aspx ; https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Transformation/md/programmesliste/developpementindustrietransformation/Pages/Investissement-transformationalimentaire.aspx ; https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Formulaires/PTA_Listeprojetsfinances.pdf

[141] IFR Statistical Department (2021).

[142] IFR Statistical Department (2021).

[143] https://news.italianfood.net/2021/08/02/how-food-and-beverage-became-the-main-wealth-of-italy/; https://www.statista.com/statistics/543904/leading-agri-food-exports-in-italy-by-product-type/; https://winenews.it/en/italian-agrifood-record-for-2021-exports-52-billion-euros-confidence-for-2022_462824/

[144] IFR Statistical Department (2021).

[145] https://www.dcvelocity.com/articles/52836-tradition-meets-material-handling-innovation-in-europe

[146] https://www.dcvelocity.com/articles/52836-tradition-meets-material-handling-innovation-in-europe

[147] https://www.youtube.com/watch?v=OLuMeFgkZEg&ab_channel=PorscheConsulting

[148] https://lcsgroup.it/en/project/barilla-the-new-automatic-warehouse/

[149] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies de pointe ou émergente, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0367-01; pour les États-Unis (*Annual Business Survey – Digital Technology Module 2018 Table 3A: Business Technologies by 3-digit NAICS for the United States and States*, United States Census Bureau); pour l'UE et les pays européens (Eurostat, *Utilisation de l'impression 3D et de la robotique; Intelligence artificielle; Internet des objets*). Les données pour le Canada, le Québec, l'Ontario sont pour toutes les entreprises et pour 2019; les données pour les États-Unis sont pour toutes les entreprises et pour 2017; les données pour l'UE et les pays européens sont pour toutes les entreprises de 10 employés ou plus et pour 2021. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[150] Les données pour 2016 à 2019 ont été extrapolées à partir des années précédentes pour les États-Unis, de même que l'année 2019 pour le Royaume-Uni et la Chine. Sources : equivalent Chapitre 1.

[151] Extrapolations à partir des années précédentes pour 2018 et 2019 en France et en Italie. Sources : équivalent Chapitre 1.

[152] Extrapolation pour l'année 2019 du Québec, de l'Ontario, du Canada, de la France et de l'Italie.

Source : Pour le Québec, l'Ontario et le Canada : Statistique Canada. Tableau 36-10-0487-01 Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, selon le secteur et l'industrie, provinciaux et territoriaux (x 1 000 000). DOI : https://doi.org/10.25318/3610048701-fra. Pour les autres pays l'OCDE. STAN pour l'Analyse Structurelle éd. 2020. https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STANI4_2020&lang=fr

[153] Sources : équivalent Chapitre 1.

[154] Les données pour 2019 du Québec, de l'Ontario et du Canada sont le résultat d'une extrapolation à partir des années précédentes, tout comme les données de 2016 à 2019 des autres territoires. Sources : équivalent Chapitre 1.

[155] Les données de l'année 2019 du Canada et de la France ont été obtenues à l'aide d'extrapolations à partir des années précédentes. Les données pour la période 2010 à 2013 du Québec proviennent de l'*Enquête sur la recherche et le développement dans l'industrie canadienne* de Statistique Canada. Les données de 2014 à 2019 ne sont pas comparables avec celles des années antérieures pour le Québec. À utiliser avec prudence. Sources : équivalent Chapitre 1.

[156] Sources : équivalent Chapitre 1.

[157] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020).

[158] IFR Statistical Department (2021).

[159] IFR Statistical Department (2021).

[160] https://www.ic.gc.ca/eic/site/lsg-pdsv.nsf/fra/h_hn01703.html

[161] Base de données, *International Federation of Robotics*. Les données pour le Canada sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution.

[162] https://www.ic.gc.ca/eic/site/lsg-pdsv.nsf/fra/h_hn01703.html#fn3-rf

[163] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/770642/industrie-pharmaceutique-portrait-montreal-economie-merck-declin

[164] Voir Gilles L. Bourque (2018), *Réflexion sur la mise sur pied d'un régime universel public d'assurance médicaments et sur la politique industrielle dans le domaine biopharmaceutique*, Institut de recherche en économie contemporaine, Montréal.

[165] https://www.ic.gc.ca/eic/site/lsg-pdsv.nsf/fra/h_hn01703.html#fn3-rf

[166] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont

vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[167] Base de données, *International Federation of Robotics*; OCDE.Stat (EMPE – Emploi salarié); China Statistical Yearbook (private + state-holding enterprises). Toutes les données sont approximatives et doivent être utilisées avec précaution. Les années manquantes pour certains pays (2019 et parfois 2018 également) ont été complétées en fonction de la tendance (croissance/décroissance moyenne de l'emploi sectoriel) des années précédentes. Nous nous arrêtons à l'année 2019 en raison des facteurs de déstabilisation de la crise sanitaire sur l'emploi en 2020. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ*, Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[168] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies de pointe ou émergente, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0367-01; pour l'UE et les pays européens (Eurostat, *Utilisation de l'impression 3D et de la robotique; Intelligence artificielle; Internet des objets*). Les données pour le Canada, le Québec, l'Ontario sont pour toutes les entreprises et pour 2019; les données pour les États-Unis sont pour toutes les entreprises et pour 2017; les données pour l'UE et les pays européens sont pour toutes les entreprises de 10 employés ou plus et pour 2021. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[169] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies de pointe ou émergente, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0367-01; pour l'UE et les pays européens (Eurostat, *Utilisation de l'impression 3D et de la robotique; Intelligence artificielle; Internet des objets*). Les données pour le Canada, le Québec, l'Ontario sont pour toutes les entreprises et pour 2019; les données pour les États-Unis sont pour toutes les entreprises et pour 2017; les données pour l'UE et les pays européens sont pour toutes les entreprises de 10 employés ou plus et pour 2021.

Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[170] IFR Statistical Department (2021); The Industrial Policy Research Center (2020).

[171] OCDE, *Dataset: ICT Access and Usage by Businesses*.

[172] IFR Statistical Department (2021)

[173] European Commission (2021c).

[174] https://www.statista.com/statistics/245473/market-share-of-the-leading-10-global-pharmaceutical-markets/

[175] https://www.statista.com/statistics/328204/turnover-of-pharmaceuticals-manufacturing-by-subdivision/

[176] https://www.statista.com/statistics/411986/pharmaceuticals-united-kingdom-uk-research-and-development-intensity/

[177] https://www.astrazeneca.com/media-centre/press-releases/2019/astrazeneca-starts-artificial-intelligence-collaboration-to-accelerate-drug-discovery-30042019.html#!

[178] https://www.fiercebiotech.com/medtech/astrazeneca-benevolentai-hone-computer-generated-target-for-chronic-kidney-disease-drugs#:~:text=MedTech-,AstraZeneca%2C%20BenevolentAI%20home%20in%20on%20computer%2Dgenerated%20target,for%20chronic%20kidney%20disease%20drugs&text=After%20launching%20a%20collaboration%20nearly,they've%20discovered%20a%20winner.

[179] https://www.newswire.ca/news-releases/benevolentai-achieves-second-major-collaboration-milestone-with-novel-idiopathic-pulmonary-fibrosis-target-selected-for-astrazeneca-s-portfolio-889032911.html

[180] https://endpts.com/after-nabbing-two-ai-generated-molecules-astrazeneca-returns-to-benevolentai-with-new-collaboration/

[181] https://www.fiercebiotech.com/medtech/astrazeneca-collects-2nd-ai-discovered-pulmonary-fibrosis-target-benevolentai-collaboration

[182] Les données de 2016 à 2019 ont été extrapolées sur la base des années précédentes pour les États-Unis, de même que l'année 2019 pour le Royaume-Uni et la Chine. Sources : équivalent Chapitre 1.

[183] Extrapolations à partir des années précédentes pour 2018 et 2019 en France et en Italie. Sources : équivalent Chapitre 1.

[184] Extrapolations à partir des années précédentes pour 2019 au Québec, en Ontario, au Canada, en France et en Italie. Sources : équivalent Chapitre 1.

[185] Sources : équivalent Chapitre 1.

[186] Les données de 2019 du Québec, de l'Ontario et du Canada sont le résultat d'une extrapolation à partir des années précédentes, de même que les données pour 2016 à 2019 des autres territoires. Sources : équivalent Chapitre 1.

[187] Les données de 2019 pour le Canada et la France ont été obtenues à l'aide d'extrapolations à partir des années précédentes. Les données de la période 2010 à 2013 pour le Québec proviennent de l'*Enquête sur la recherche et le développement dans l'industrie canadienne de Statistique Canada*. Les données de 2014 à 2019 ne sont pas comparables avec celles des années antérieures pour le Québec. À utiliser avec prudence. Sources : équivalent Chapitre 1.

[188] Sources : équivalent Chapitre 1.

[189] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020).

[190] IFR Statistical Department (2021).

[191] Ibid.

[192] Base de données, *International Federation of Robotics*. Les données pour le Canada sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution.

[193] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le

total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[194] https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/creneaux/conception-et-fabrication-de-machines/

[195] https://iseq.ca/a-propos

[196] Base de données, *International Federation of Robotics*; OCDE.Stat (EMPE – Emploi salarié); China Statistical Yearbook (private + state-holding enterprises). Toutes les données sont approximatives et doivent être utilisées avec précaution. Les années manquantes pour certains pays (2019 et parfois 2018 également) ont été complétées en fonction de la tendance (croissance/décroissance moyenne de l'emploi sectoriel) des années précédentes. Nous nous arrêtons à l'année 2019 en raison des facteurs de déstabilisation de la crise sanitaire sur l'emploi en 2020. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[197] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies de pointe ou émergente, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0367-01; pour les États-Unis (*Annual Business Survey – Digital Technology Module 2018 Table 3A: Business Technologies by 3-digit NAICS for the United States and States*, United States Census Bureau). Les données pour le Canada, le Québec, l'Ontario sont pour toutes les entreprises et pour 2019; les données pour les États-Unis sont pour toutes les entreprises et pour 2017. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[198] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies de pointe ou émergente, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0367-01; pour les États-Unis (*Annual Business Survey – Digital Technology Module 2018 Table 3A: Business Technologies by 3-digit NAICS for the United States and States*, United States Census Bureau). Les données pour le Canada, le Québec, l'Ontario sont pour toutes les entreprises et pour 2019; les données pour les États-Unis sont pour toutes les entreprises et pour 2017. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[199] Les données de 2016 à 2019 ont été extrapolées à partir des années précédentes pour les États-Unis, de même que l'année 2019 pour le Royaume-Uni et la Chine. Sources : équivalent Chapitre 1.

[200] Extrapolations à partir des années précédentes pour 2018 et 2019 en France et en Italie. Sources : équivalent Chapitre 1.

[201] Extrapolation à partir des années précédentes pour 2019 au Québec, en Ontario, au Canada, en France et en Italie. Sources : équivalent Chapitre 1.

[202] Sources : équivalent Chapitre 1.

[203] Les données de 2019 du Québec, de l'Ontario et du Canada sont le résultat d'une extrapolation à partir des années précédentes, de même que les données 2016 à 2019 des autres territoires. Sources : équivalent Chapitre 1.

[204] Les données de 2019 du Canada et de la France ont été obtenues à l'aide d'extrapolations à partir des années antérieures. Les données pour la période 2010 à 2013 du Québec proviennent de l'*Enquête sur la recherche et le développement dans l'industrie canadienne* de Statistique Canada. Les données de 2014 à 2019 ne sont pas comparables avec celles des années antérieures pour le Québec. À utiliser avec prudence. Sources : équivalent Chapitre 1.

[205] Sources : équivalent Chapitre 1.

[206] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020).

[207] Base de données, *International Federation of Robotics*. Les données pour le Canada sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution.

[208] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une

moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[209] Base de données, *International Federation of Robotics*; OCDE.Stat (EMPE – Emploi salarié); China Statistical Yearbook (private + state-holding enterprises). Toutes les données sont approximatives et doivent être utilisées avec précaution. Les années manquantes pour certains pays (2019 et parfois 2018 également) ont été complétées en fonction de la tendance (croissance/décroissance moyenne de l'emploi sectoriel) des années précédentes. Nous nous arrêtons à l'année 2019 en raison des facteurs de déstabilisation de la crise sanitaire sur l'emploi en 2020. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[210] Voir notamment Léger (2022).

[211] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies de pointe ou émergente, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0367-01; pour les États-Unis (*Annual Business Survey – Digital Technology Module 2018 Table 3A: Business Technologies by 3-digit NAICS for the United States and States*, United States Census Bureau); pour l'UE et les pays européens (Eurostat, *Utilisation de l'impression 3D et de la robotique; Intelligence artificielle; Internet des objets*). Les données pour le Canada, le Québec, l'Ontario sont pour toutes les entreprises et pour 2019; les données pour les États-Unis sont pour toutes les entreprises et pour 2017; les données pour l'UE et les pays européens sont pour toutes les entreprises de 10 employés ou plus et pour 2021. Toutes les données sont

approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[212] Extrapolations à partir des années précédentes pour 2018 et 2019 en Italie, de même que pour 2019 en Chine. Sources : équivalent Chapitre 1.

[213] Extrapolations à partir des années précédentes pour 2018 et 2019 en Italie. Sources : équivalent Chapitre 1.

[214] Extrapolations à partir des années précédentes pour 2019 au Québec, en Ontario, au Canada, et en Italie. Sources : équivalent Chapitre 1.

[215] Sources : équivalent Chapitre 1.

[216] Les données de 2019 du Québec, de l'Ontario et du Canada sont le résultat d'une extrapolation à partir des années précédentes, de même que les données 2016 à 2019 des autres territoires. Sources : équivalent Chapitre 1.

[217] Les données de 2019 du Canada et de la France ont été obtenues à l'aide d'extrapolations à partir des années précédentes. Les données pour la période 2010 à 2013 du Québec proviennent de l'*Enquête sur la recherche et le développement dans l'industrie canadienne* de Statistique Canada. Les données de 2014 à 2019 ne sont pas comparables avec celles des années antérieures pour le Québec. À utiliser avec prudence. Sources : équivalent Chapitre 1.

[218] Sources : équivalent Chapitre 1.

[219] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020).

[220] IFR Statistical Department (2021).

[221] Base de données, *International Federation of Robotics*. Les données pour le Canada sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution.

[222] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie

(voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[223] Base de données, *International Federation of Robotics*; OCDE.Stat (EMPE – Emploi salarié); China Statistical Yearbook (private + state-holding enterprises). Toutes les données sont approximatives et doivent être utilisées avec précaution. Les années manquantes pour certains pays (2019 et parfois 2018 également) ont été complétées en fonction de la tendance (croissance/décroissance moyenne de l'emploi sectoriel) des années précédentes. Nous nous arrêtons à l'année 2019 en raison des facteurs de déstabilisation de la crise sanitaire sur l'emploi en 2020. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[224] Voir IFR (2021).

[225] Voir European Commission (2021d); https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3559.

[226] https://www.tia-nano.jp/data/doc/1619485345_doc_66_0.pdf

[227] https://www.tia-nano.jp/data/doc/1619485349_doc_66_0.pdf

[228] https://www.tia-nano.jp/page/page000326.html

[229] https://www.tia-nano.jp/page/page000573.html

[230] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies de pointe ou émergente, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0367-01; pour les États-Unis (*Annual Business Survey – Digital Technology Module 2018 Table 3A: Business Technologies by 3-digit NAICS for the United States and States*, United States Census Bureau); pour l'UE et les pays européens (Eurostat, *Utilisation de l'impression 3D et de la robotique; Intelligence artificielle; Internet des objets*). Les données pour le Canada, le Québec, l'Ontario sont pour toutes les entreprises et pour 2019; les données pour les États-Unis sont pour toutes les entreprises et pour 2017; les données pour l'UE et les pays européens sont pour toutes les entreprises de 10 employés ou plus et pour 2020 (fabrication additive) ou 2021 (intelligence artificielle, Internet des objets). Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[231] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies de pointe ou émergente, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0367-01; pour les États-Unis (*Annual Business Survey – Digital Technology Module 2018 Table 3A: Business Technologies by 3-digit NAICS for the United States and States*, United States Census Bureau); pour l'UE et les pays européens (Eurostat, *Utilisation de l'impression 3D et de la robotique; Intelligence artificielle; Internet des objets*). Les données pour le Canada, le Québec, l'Ontario sont pour toutes les entreprises et pour 2019; les données pour les États-Unis sont pour toutes les entreprises et pour 2017; les données pour l'UE et les pays européens sont pour toutes les entreprises de 10 employés ou plus et pour 2021. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[232] Les données de 2016 à 2019 ont été extrapolées sur la base des années précédentes pour les États-Unis, de même que l'année 2019 pour l'Italie et la Chine. Sources : equivalent Chapitre 1.

[233] Extrapolations à partir des années précédentes pour 2018 et 2019 en Italie. Sources : équivalent Chapitre 1.

[234] Sources : équivalent Chapitre 1.

[235] Sources : équivalent Chapitre 1.

[236] Les données de 2019 du Québec, de l'Ontario et du Canada sont le résultat d'une extrapolation sur la base des années précédentes, de même que les données 2016 à 2019 des autres territoires. Sources : équivalent Chapitre 1.

[237] Les données de 2019 du Canada et de la France ont été obtenues à l'aide d'extrapolations sur les base des années précédentes. Les données pour la période 2010 à 2013 du Québec proviennent de l'*Enquête sur la recherche et le développement dans l'industrie canadienne* de Statistique Canada. Les données de 2014 à 2019 ne sont pas comparables avec celles des années antérieures pour le Québec. À utiliser avec prudence. Sources : équivalent Chapitre 1.

[238] Sources : équivalent Chapitre 1.

[239] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie

(voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse du « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020).

[240] IFR Statistical Department (2021).

[241] Ibid.

[242] Base de données, *International Federation of Robotics*. Les données pour le Canada sont basées en partie sur les chiffres de l'IFR et sur les estimations des auteurs; à utiliser avec précaution.

[243] Base de données, *International Federation of Robotics*. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020). Grâce à ces données sectorielles, nous avons enfin pu estimer, à l'aide des données de Statistique Canada sur les emplois par secteur (Tableau : 14-10-0202-01), la densité robotique de chacune des industries manufacturières québécoises.

[244] https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/secteurs/plasturgie/apercu-de-lindustrie-de-la-plasturgie/

[245] Base de données, *International Federation of Robotics*; OCDE.Stat (EMPE – Emploi salarié); China Statistical Yearbook (private + state-holding enterprises). Toutes les données sont approximatives et doivent être utilisées avec précaution. Les années manquantes pour certains pays (2019 et parfois 2018 également) ont été complétées en fonction de la tendance (croissance/décroissance moyenne de l'emploi sectoriel) des années précédentes. Nous nous arrêtons à l'année 2019 en raison des facteurs de déstabilisation de la crise sanitaire sur l'emploi en 2020. *Les données pour le Québec ont été estimées sur les bases suivantes : 15% en moyenne des entreprises utilisant la

robotique industrielle pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, et 17.3% en moyenne pour les secteur de moyenne-haute/haute technologie (voir ISQ, *Enquête sur l'intégration d'Internet aux processus d'affaires*, 2020). En appliquant ces moyennes à chacun des secteurs individuellement, nous avons pu estimer le nombre d'entreprises par secteur utilisant au moins un robot industriel. Pour les secteurs de faible/moyenne-faible technologie, nous octroyons aux fins de l'exercice une moyenne d'un robot par entreprise; pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie, une moyenne de 2,5 robots par entreprise. Nous avons appliqué à cette règle trois exceptions, pour mieux refléter les réalités sectorielles de l'automatisation : le secteur de la fabrication des aliments et celui des produits de caoutchouc/plastique se sont vu « surclassés » et nous y avons appliqué les mêmes proportions que pour les secteurs de moyenne-haute/haute technologie (17,3% et 2,5 robots par entreprise); le secteur des produits chimiques/pharmaceutiques s'est à l'inverse vu « déclassé » et nous y avons appliqué des proportions mitoyennes (15% et 1,75 robot par entreprise). Sur la base de ces hypothèses raisonnables, nous avons pu estimer le nombre de robots industriels en opération par secteur (le total combiné pour tous les secteurs manufacturiers correspond presque parfaitement aux 3500-3700 robots que nous avons attribués au Québec sur la base de nos extrapolations à partir des données de l'IFR pour 2019-2020).

[246] Source : Statistique Canada, Utilisation de technologies de pointe ou émergente, selon l'industrie et la taille de l'entreprise, Tableau 27-10-0367-01; pour les États-Unis (*Annual Business Survey – Digital Technology Module 2018 Table 3A: Business Technologies by 3-digit NAICS for the United States and States*, United States Census Bureau). Les données pour le Canada, le Québec, l'Ontario sont pour toutes les entreprises et pour 2019; les données pour les États-Unis sont pour toutes les entreprises et pour 2017. Toutes les données sont approximatives et les définitions/méthodologies peuvent varier légèrement d'une source à l'autre : à utiliser avec précaution.

[247] Sources et méthodologies : équivalent Chapitres 1 à 6.

[248] Sources et méthodologies : équivalent Chapitres 1 à 6.

[249] Sources et méthodologies : équivalent Introduction et Chapitres 1 à 6.

[250] Sources et méthodologies : équivalent Introduction et Chapitres 1 à 6.

[251] Sources et méthodologie : équivalent Chapitres 1 à 6.

[252] Sources et méthodologies : équivalent Chapitres 1 à 6.

[253] Sources et méthodologies : équivalent Chapitres 1 à 6.