



# Industrie 4.0, l'avenir du travail et des compétences

Renforcer les  
ressources  
collectives  
de l'industrie  
aérospatiale  
canadienne



TED  
ROGERS  
SCHOOL  
OF MANAGEMENT

DiV<sup>ERSITY</sup>  
iNSTITUTE

 Centre des  
Compétences futures

 OBSERVATOIRE INTERNATIONAL  
SUR LES IMPACTS SOCIÉTAUX  
DE L'IA ET DU NUMÉRIQUE

  
CENTRE DE RECHERCHE INTERDISCIPLINAIRE  
SUR LA RENDABILITÉ ET LE TRAVAIL  
INTELLIGENCE RESEARCH CENTRE  
ON GLOBALIZATION AND WORK

  
Le partenariat du CRIMT sur l'expérimentation  
institutionnelle et l'amélioration du travail

HEC MONTRÉAL



Le Diversity Institute mène et coordonne des recherches multidisciplinaires et multipartites pour répondre aux besoins des Canadiens et des Canadiennes de tous les horizons, à la nature changeante des aptitudes et des compétences, et aux politiques, mécanismes et outils qui favorisent l'inclusion et la réussite économiques. Notre approche axée sur l'action et fondée sur des données probantes fait progresser la connaissance des obstacles complexes auxquels font face les groupes sous-représentés ainsi que des pratiques exemplaires pour induire des changements et produire des résultats concrets. Le Diversity Institute dirige des recherches pour le Centre des Compétences futures.



Le Centre des Compétences futures est un centre de recherche et de collaboration avant-gardiste qui se voue à préparer les Canadiennes et les Canadiens pour qu'ils aient du succès en emploi et qu'ils satisfassent aux besoins émergents en talents des employeurs. En qualité de communauté pancanadienne, le CCF réunit des experts et des organismes de différents secteurs afin de déterminer, d'évaluer et d'échanger de façon rigoureuse des approches novatrices au développement des compétences nécessaires pour favoriser la prospérité et l'inclusion. Le CCF participe directement à l'innovation grâce à des investissements dans des projets pilotes et de la recherche universitaire sur l'avenir du travail et les compétences au Canada. Le Centre des Compétences futures – Future Skills Centre est financé le gouvernement du Canada dans le cadre du programme Compétences futures.



Les activités du Centre de recherche interuniversitaire sur la mondialisation et le travail (le CRIMT) portent sur les enjeux théoriques et pratiques du renouveau institutionnel et organisationnel en matière de travail et d'emploi à l'ère de la mondialisation. Son *Projet de partenariat sur l'expérimentation institutionnelle et l'amélioration du travail* – financé par le Conseil de recherches en sciences humaines du Canada et la Fondation canadienne pour l'innovation – réunit le CRIMT (subventionné par le Fonds de recherche du Québec - Société et culture), puis un réseau international de centres partenaires (20) et de chercheur.euses associé.es (180). Ce vaste projet pluriannuel vise à mieux comprendre comment les acteurs sociaux s'approprient, mobilisent et transforment les institutions de régulation du travail, et pourquoi ces processus mènent tantôt à une amélioration, tantôt à une détérioration du travail.



HEC Montréal est un établissement universitaire francophone qui offre des programmes d'enseignement et de recherche en gestion de renommée internationale. Depuis 1907, l'École forme une relève de gestionnaires qui contribuent à l'essor de notre société.



Soutenu financièrement par les Fonds de recherche du Québec, l'Observatoire aide les communautés, les organisations et les particuliers à maximiser les retombées positives de l'IA et du numérique et à minimiser les effets négatifs des technologies.

## Commanditaire

Le Centre des Compétences futures – Future Skills Centre est financé le gouvernement du Canada dans le cadre du programme Compétences futures.

Financé par le programme des Compétences futures du gouvernement du Canada.



Les opinions et interprétations contenues dans cette publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du gouvernement du Canada.

## Collaborateurs

**Kai-Hsin Hung,**  
candidat au doctorat  
HEC Montréal

**Lucie Morissette, Ph. D.**  
HEC Montréal

**Benjamin Paré, Masters student**  
UQÀM

**Marc-Antonin Hennebert, Ph. D.**  
HEC Montréal

**Daniel Nicholson,**  
candidat au doctorat  
Université de Cardiff

**Laurence Solar Pelletier, Ph. D.**  
Polytechnique Montréal

**Date de publication :**  
Avril 2021

## Auteurs

### **Christian Lévesque, Ph. D.**

*HEC Montréal*

Christian Lévesque est professeur titulaire à HEC Montréal et codirecteur du réseau de recherche CRIMT et du centre de recherche associé, un partenariat entre 18 universités québécoises et internationales. Il est également coresponsable des activités de recherche sur l'Industrie 4.0, le travail et l'emploi, menées à l'Observatoire international sur les impacts sociétaux de l'IA et du numérique. Il a dirigé plusieurs projets de recherche à long terme, dont un récent projet international sur l'industrie aérospatiale. Ses intérêts de recherche actuels sont axés sur l'impact des technologies émergentes sur le travail et l'action collective.

### **Sara Pérez-Lauzon, candidate au doctorat**

*HEC Montréal*

Sara Pérez-Lauzon est candidate au doctorat à HEC Montréal et est affiliée au CRIMT. Sa thèse porte sur les stratégies des PME au sein des grappes de l'aérospatiale au Canada et en Belgique dans le contexte du développement des compétences. Elle s'intéresse à la collaboration interentreprises en matière de gestion des ressources humaines (GRH) et le rôle qui y joue la gouvernance des grappes industrielles. Ses intérêts de recherche portent sur les mécanismes de collaborations interfirmes autour d'enjeux de GRH dans le contexte de transformations sectorielles et régionales.

### **Cassandra Bowkett, Ph. D.**

*HEC Montréal*

Cassandra Bowkett est chercheuse postdoctorale à HEC Montréal, affiliée au réseau de recherche CRIMT et au centre de recherche associé. Elle a travaillé à temps plein sur le projet financé par le Centre des Compétences du futur, qui portait sur l'impact des technologies de l'Industrie 4.0 sur les besoins futurs en compétences du secteur aérospatial au Canada. Elle a terminé sa recherche doctorale à l'Université de Cardiff. Elle y a exploré le rôle des multinationales de l'aérospatiale au Royaume-Uni et en Australie dans la définition de compétences futures pour les ingénieurs. Ses intérêts de recherche portent sur les compétences futures et la gestion des talents, notamment dans le contexte des technologies émergentes.

### **Blandine Emilien, Ph. D.**

*UQÀM*

Blandine Emilien est professeure adjointe en gestion des ressources humaines à l'école des sciences de la gestion de l'université du Québec à Montréal. Par le biais d'un postdoctorat, elle a été amenée à faire de la recherche sur l'industrie aérospatiale aussi bien au Canada qu'à l'étranger. Également membre du CRIMT, Blandine poursuit ses intérêts de recherche qui visent à identifier des pratiques décentes de GRH (plus particulièrement en lien avec la dotation et le développement des individus ainsi que la gestion des talents) et à différencier des styles managériaux non sans un prisme comparatif sur diverses industries et types d'organisations. Ses projets de recherche actuels portent d'une part sur le processus de recrutement de travailleurs migrants dans l'industrie de la transformation des viandes au Québec et d'autre part sur la démarche d'organisations syndicales à titre d'employeuses au Québec et au Pays basque Sud (Espagne), de repenser leur propre gestion de la relève et de talents.

# Table des matières

<b>Résumé</b>	<b>ii</b>
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>L'industrie aérospatiale</b>	<b>8</b>
<b>Innovation, I4.0 et la transformation du travail et des compétences</b>	<b>16</b>
<b>Dynamique des grappes et configurations institutionnelles régionales de Toronto et de Montréal</b>	<b>41</b>
<b>Conclusion</b>	<b>68</b>
<b>Annexes</b>	<b>71</b>
<b>Références</b>	<b>79</b>





# Résumé



Depuis des décennies, le Canada s'est doté d'une industrie aérospatiale robuste et concurrentielle, qui joue un rôle de premier plan dans l'économie, grâce aux 700 entreprises aérospatiales du pays qui emploient environ 90 000 personnes. Avant la pandémie de COVID-19, la demande de main-d'œuvre surpassait l'offre dans l'industrie, ce qui entraînait une pénurie de main-d'œuvre dans de nombreuses professions. L'un des défis majeurs et persistants de l'industrie est d'attirer une nouvelle génération de travailleurs en offrant de bons emplois et un travail de meilleure qualité.

L'adoption de l'Industrie 4.0 (I4.0) est souvent présentée comme un moyen d'accroître la compétitivité de l'industrie, mais aussi d'améliorer la qualité du travail et les compétences en éliminant les tâches répétitives routinières. Notre recherche au sein des grappes de l'industrie aérospatiale de Montréal et de Toronto poursuit deux objectifs : 1) mieux comprendre l'incidence de l'I4.0 sur le travail et les compétences; 2) identifier les conditions susceptibles de permettre aux diverses parties-prenantes de relever les défis de l'I4.0 et des compétences futures. Quatre constats principaux se dégagent de cette recherche.

Premièrement, il existe des écarts importants entre les entreprises dans l'adoption de l'I4.0. Si certaines entreprises sont pleinement engagées et exploitent actuellement une usine virtuelle, d'autres n'ont pas encore entamé le virage vers l'I4.0. Entre ces deux extrêmes, les entreprises

en sont à diverses étapes, alors qu'elles développent leur infrastructure numérique pour saisir et organiser les données pertinentes.

Deuxièmement, les incidences de l'I4.0 sur le travail et les compétences sont assez variables : tous les travailleurs ne sont pas affectés et ceux qui le sont ne le sont pas tous de la même manière. Bien que l'adoption de l'I4.0 n'en soit qu'à ses débuts et que son incidence sur les compétences et le travail reste une question ouverte, nos données suggèrent qu'elle provoque une polarisation des emplois en créant certains postes hautement qualifiés, mais aussi de nombreux emplois moins qualifiés. Il s'ensuit que l'industrie vit un problème réel que l'adoption de l'I4.0 risque d'exacerber : elle éprouve de la difficulté à attirer les talents en raison d'un nombre moins grand d'emplois offrant un travail de qualité et exigeant des compétences élevées.

Troisièmement, au sein des deux grappes, le principal défi associé à l'adoption de l'I4.0 et au développement des compétences futures se trouve dans la production de ressources collectives. À Montréal, une bonne partie des ressources collectives, en matière de formation, de connaissances et de ressources matérielles, sont offertes par des organismes intermédiaires du secteur. Ces organismes créent également des espaces pour permettre aux acteurs ayant moins de pouvoir (p. ex., petites et moyennes entreprises [PME] et syndicats) de participer à la prise de décisions, à la définition de l'agenda



et à l'affectation des ressources. À Toronto, il y a moins de ressources à l'échelle de la grappe pour soutenir les entreprises qui adoptent l'I4.0. Et pourtant, il existe de plus en plus de projets de collaboration et d'expérimentation pilotés sur une base individuelle par des entreprises et certains collègues et universités. Ces dernières années, les organismes intermédiaires ont développé des initiatives visant à encourager le réseautage et la collaboration entre les diverses parties prenantes. Néanmoins, les grandes entreprises sont plus à même de développer ces initiatives et d'accéder à ces ressources que les PME. Ce faisant, chaque région a créé des ressources selon une approche distincte : à Toronto, l'approche est centrée sur l'entreprise, tandis qu'à Montréal, une approche plus coordonnée est privilégiée.

Quatrièmement, les entreprises ne peuvent pas relever seules les défis de l'I4.0 et du développement des compétences futures. Il importe d'établir des mécanismes pour favoriser la collaboration et la coordination entre les diverses parties prenantes afin de produire des ressources collectives propices au développement d'une main-d'œuvre qualifiée et la création d'innovations technologiques.

Bien que notre recherche à Montréal et à Toronto ait été réalisée avant la pandémie de COVID-19, cette proposition est d'autant plus pertinente dans le contexte actuel, étant donné que les entreprises doivent composer avec un ralentissement important de leurs activités, ce qui les a conduites à licencier du personnel.

Dans le contexte de la pandémie de COVID-19, et de l'impact dévastateur qu'elle a eu sur les compagnies aériennes et les entreprises aérospatiales, l'industrie doit impérativement se trouver à l'avant-garde en matière d'innovation de produits et de processus. Le Canada doit se doter d'une stratégie à long terme pour être productif et réduire les coûts, tout en créant, grâce à l'I4.0, de bons emplois et un travail de meilleure qualité.



# Introduction



## La COVID-19, l'I4.0 et l'avenir du travail et des compétences dans l'industrie aérospatiale canadienne

La pandémie de COVID-19 a entraîné une diminution des vols internationaux et a mis à mal les compagnies aériennes. Cette situation a eu un effet de contagion sur l'industrie aérospatiale, alors que les compagnies aériennes devront sans doute reporter leurs projets d'achat d'aéronefs (Srocki, 2020). C'est là une mauvaise nouvelle pour l'industrie aérospatiale canadienne, qui s'efforce déjà d'être compétitive sur un marché mondial où la concurrence provenant d'autres pays est vive, ces derniers investissant des milliards pour soutenir et conserver leurs industries aérospatiales nationales.

Après la pandémie, les investissements des pays concurrents n'ont cessé de croître, alors que l'industrie aérospatiale canadienne vit une pénurie de ressources. L'impact négatif sur l'industrie locale se fait déjà sentir en raison du nombre élevé de mises à pied et de licenciements. La pandémie va sans aucun doute également annuler la croissance anticipée de l'industrie et les retards de production avec lesquelles elle devait composer. Par ailleurs, certaines entreprises envisagent de déplacer leur production vers des pays où les coûts sont moins élevés, ce qui constitue une menace importante pour les fabricants et les fournisseurs locaux.

*Nous sommes sur le point de tout perdre. Même avant les conséquences désastreuses de la pandémie de COVID-19, l'industrie aérospatiale canadienne perdait du terrain... Et maintenant, face aux pressions exercées et aux pertes qui sont les plus importantes à jamais survenir dans l'histoire de l'aviation, le Canada a régressé encore davantage.*

---

— CHAREST (2020)

À la fin de décembre 2020, le gouvernement fédéral n'avait pas encore annoncé de stratégie pour l'industrie aérospatiale et l'aide gouvernementale offerte à l'industrie de l'aviation commerciale (principale acheteuse d'aéronefs) ne correspondait qu'à 1,3 % du montant total de la vente de billets pour l'année 2019. Cette aide est d'un niveau incroyablement bas, comparativement à celle accordée à l'industrie aux É.-U. (32,7 %), en France (36,1 %), en Allemagne (19,5 %) et au R.-U. (7,1 %) (Pearce, 2020; voir également Leroux et al., 2020).



En outre, la pandémie de COVID-19 a mis encore plus en lumière le rôle de l'I4.0.<sup>1</sup> Le concept d'I4.0 a vu le jour à la Foire commerciale de Hanovre en 2011 et a été désigné comme un nouveau paradigme de production industrielle, appelé à révolutionner le secteur manufacturier et celui des services (Kagermann, Wahlster et Helbig, 2013). Et pourtant, avec ses multiples significations (Mertens et Wiener, 2018), et plus d'une centaine de définitions recensées (Moeuf et al., 2018), l'I4.0 est un concept contesté qui ne fait pas consensus. Le concept a même été associé à un « engouement » ou à une « mode » managériale (Madsen, 2019). Dans ce rapport, l'I4.0 se définit comme une nouvelle approche du contrôle des processus de production par la synchronisation en temps réel des flux de production entraînant une fabrication unitaire et sur mesure de produits (Köhler et Weisz, 2016). Dans le contexte manufacturier, l'I4.0 comprend la mise sur pied d'une usine virtuelle, la gestion virtuelle de la chaîne d'approvisionnement, le recours à l'entretien préventif et le contrôle en temps réel de la qualité, des volumes et flux de production.

Toutefois, l'I4.0 fonctionne également comme un cadre de référence qui vise à institutionnaliser l'innovation technologique et à transformer le travail. Il s'agit d'un concept éminemment normatif qui tend à prescrire la façon dont on peut contrôler les processus de fabrication à

1 Dans un rapport récent, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, 2020) soutient que la pandémie accélérera vraisemblablement l'adoption de technologies numériques et que l'automatisation remplacera probablement certaines tâches au sein des emplois plutôt que de remplacer des emplois, ce qui aura un impact sur les compétences de la main-d'œuvre. Les nouvelles technologies rendront vraisemblablement certaines compétences caduques et accroîtront la demande de nouvelles compétences et de nouveaux emplois liés à la gestion des données et aux technologies de l'information (TI).

l'aide de nouvelles technologies afin d'améliorer la productivité, la flexibilité et les délais de livraison tout en réduisant les coûts. Les sociétés de conseil internationales jouent un rôle de premier plan dans la définition des éléments conceptuels du discours sur l'I4.0, notamment par le biais de leurs rapports et de matériel promotionnel (Pfeiffer, 2017). On estime que les données seront l'essence même de l'I4.0; le nouveau combustible de l'économie (Agrawal, Gans et Goldfarb, 2018). Pour faire de l'I4.0 une réussite, il est essentiel que les entreprises soient en mesure de s'adapter aux données et d'en tirer des enseignements, le tout en temps réel. On s'attend à ce que les travailleurs deviennent des analystes des données liées à la production et qu'ils soient capables d'extraire d'une masse d'informations des renseignements utiles sur la qualité des processus. On suppose donc que la robotique et les technologies cognitives associées à l'I4.0 transformeront le rôle de la main-d'œuvre, mais il peut être ardu d'envisager avec précision ce que seront ces nouveaux rôles (Sniderman et al., 2016).

Même si tous s'entendent généralement pour dire que l'I4.0 transformera les industries manufacturières et la nature du travail, il n'y a presque aucun consensus sur les incidences qu'aura l'I4.0 sur les compétences. Augmentera-t-elle et complétera-t-elle les tâches des travailleurs? Aura-t-elle pour effet d'accroître les compétences des travailleurs, ou plutôt de les éroder? Quels types de compétences seront requises dans le contexte manufacturier de l'I4.0? Il reste encore à définir la combinaison d'aptitudes et d'attributs personnels, de compétences et de connaissances qui seront exigés pour accomplir avec efficacité un travail dans l'environnement de l'I4.0.<sup>2</sup> Il est

2 Nous nous appuyons ici sur la définition de la compétence dans la publication de Braham et Tobin (2020).

toutefois vraisemblable que les programmes de formation devront être révisés, tandis que la main-d'œuvre devra également acquérir de nouvelles compétences. Cet investissement dans les compétences sera onéreux tant sur le plan financier que sur le plan des ressources humaines et technologiques. Même si les données peuvent être « le nouveau combustible » (Agrawal et al., 2018), les goulots d'étranglement dans la mise en œuvre de l'I4.0 ne découleront pas seulement de la gestion et de l'analyse des données, car les compétences et la formation constituent également des facteurs importants à considérer (Brynjolfsson et McAfee, 2014).

En l'absence de mécanismes de coordination des besoins des diverses parties prenantes,<sup>3</sup> les entreprises pourraient avoir tendance à ne pas suffisamment investir dans la formation ou encore à investir d'avant dans une formation spécifique aux besoins de l'entreprise (Crouch et al., 1999), ce qui réduit l'offre de main-d'œuvre qualifiée. Dans ces conditions, la compétition pour obtenir de la main-d'œuvre qualifiée (et leur débauchage) pourrait s'accroître, tout comme la poursuite de relations essentiellement concurrentielles entre les entreprises.

La rivalité pourrait aussi s'étendre des entreprises aux travailleurs, aux syndicats et même à d'autres organismes investis dans le système de développement des compétences (p. ex., les collèges, les universités, les prestataires de formation privés ou les associations sectorielles). Dans un tel contexte, les entreprises ne sont pas, à elles seules,

3 Une partie prenante désigne tout acteur (individu, groupe, organisation) concerné par les activités de l'industrie aéronautique. Il peut s'agir d'entreprises, de syndicats, d'organismes sectoriels, de représentants gouvernementaux et de divers acteurs impliqués en recherche et dans le système de développement des compétences, comme les universités et les collèges.

bien outillées pour aborder les enjeux futurs en matière de développement des compétences et le défi plus vaste que pose l'adoption de l'I4.0. Notre principale proposition est à l'effet que des actions coordonnées sont nécessaires pour créer des espaces de collaboration qui permettront aux entreprises et aux organismes intermédiaires<sup>4</sup> d'agir ensemble pour mettre en commun et créer des ressources collectives.<sup>5</sup>

Toutes les retombées de cette collaboration devraient être également accessibles aux diverses parties prenantes qui en ont besoin. Une contribution importante d'Ostrom (1990), est d'avoir mis en évidence que la nature des biens ne se définit pas uniquement en fonction de leurs caractéristiques (exclusion et rivalité) mais aussi selon les institutions qui établissent leurs conditions de production et d'usage.<sup>6</sup> Nous estimons que si l'agilité des institutions peut favoriser le développement des compétences futures (Organisation de coopération et de développement économiques [OCDE], 2020), il y a fort à parier que ces

4 Dans la foulée des travaux de Cooke, Boekholt et Tödting (2000 : 104), les organismes intermédiaires désignent les organisations sectorielles, les organisations spécialisées en technologie, en recherche publique, en éducation ainsi que les associations d'employeurs et de travailleurs.

5 Les économistes ont tendance à définir différents types de biens selon deux critères: 1) l'exclusion qui réfère à la possibilité d'exclure une personne de l'usage d'un bien (une seule personne à la fois peut utiliser le bien, ou il s'agit d'un bien que tous peuvent utiliser); et 2) le degré de rivalité qui réfère à l'utilisation ou la consommation d'un bien (l'utilisation par une personne d'un bien empêche d'autres personnes de l'utiliser ou au contraire plusieurs personnes peuvent l'utiliser simultanément) (voir Crouch et al., 1999). Nous avons puisé dans les travaux de plusieurs universitaires (p. ex. Coriat, 2015; Ostrom, 1990) qui mettent l'accent sur les institutions qui permettent la création de ressources collectives.

6 Les institutions façonnent le comportement et les relations entre les acteurs par la mise en place de règles, de sanctions et d'incitations formelles; de conceptions partagées et de significations convenues; ainsi que de cadres d'interprétation et de normes contraignantes (Scott, 2008). Du point de vue des acteurs, les institutions sont à la fois contraignantes et habilitantes.

compétences, lorsqu'elles sont perçues comme des ressources collectives, seront plus adéquates si elles résultent d'une collaboration entre les diverses parties prenantes.

Dans cette perspective, ce rapport poursuit deux objectifs. Dans un premier temps, il vise à évaluer l'utilisation et l'expansion de l'I4.0 afin d'en déterminer l'incidence sur le travail et les compétences. Dans un deuxième temps, il vise à saisir la dynamique par laquelle les acteurs et les organismes intermédiaires expérimentent avec les institutions pour produire des ressources collectives afin de relever le défi de l'I4.0. Ce rapport se concentre principalement sur les deux grappes manufacturières les plus importantes de l'industrie aérospatiale canadienne : Montréal, au Québec, et Toronto, en Ontario. Le Québec et l'Ontario présentent des profils comparatifs des plus intrigants. Haddon (2015) soutient que les deux provinces ont suivi des modèles distincts de développement, ce qui a mené à des choix contrastés en matière de politiques économiques et sociales. Ainsi, l'Ontario a opté pour une approche principalement centrée sur l'entreprise, tandis que le Québec privilégie une forme de concertation basée sur l'intermédiation des intérêts entre les diverses parties prenantes. Le travail de Galvin (2019) sur la gouvernance multiniveau dans l'industrie aérospatiale de l'Ontario et du Québec suggère également que les deux provinces ont recours à des modèles de développement économique assez différents. Plusieurs études qui ont analysé ou comparé le développement régional ou encore l'évolution des grappes industrielles dans ces deux provinces aboutissent aux mêmes conclusions (Rutherford et al., 2018; Warran et Mulhern, 2009; Tremblay et al., 2012; Niosi et Zhegu, 2005). Notre rapport vise à contribuer à cette réflexion en examinant comment les institutions régionales dans les deux provinces peuvent renforcer la création de



*Notre rapport vise à contribuer à cette réflexion en examinant comment les **institutions régionales dans les deux provinces peuvent renforcer la création de ressources collectives** afin de relever les défis de l'I4.0 et du développement des **compétences futures.***

ressources collectives afin de relever les défis de l'I4.0 et du développement des compétences futures.

Ce rapport est structuré comme suit : l'introduction sera immédiatement suivie d'une brève section sur la méthodologie qui délimite les contours du projet. La deuxième section mobilise les données de Statistique Canada et de l'industrie pour rendre compte du contexte de l'industrie aérospatiale ainsi que des principales données démographiques des deux régions à l'étude. La troisième section s'appuie sur une combinaison de données de Statistique Canada et de données qualitatives colligées auprès d'une variété d'acteurs afin d'examiner les tendances liées à l'adoption de l'I4.0 et d'explorer l'impact qu'elle peut avoir sur le marché du travail, l'organisation du travail et le développement des compétences. La quatrième section présente brièvement le cadre d'analyse retenu pour décrire les configurations institutionnelles régionales à Toronto et Montréal, puis pour évaluer la dynamique actuelle et les ressources produites par ces institutions pour relever les défis que posent l'I4.0 et les compétences futures. Enfin,



la conclusion examine la portée de nos résultats sur le développement d'une stratégie pour renforcer la compétitivité et la pérennité de l'industrie aérospatiale canadienne.

## Devis et méthode de recherche

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche sur l'industrie aérospatiale.<sup>7</sup> Au cours de la première phase de recherche dans la région de Montréal (au début de 2010), nous avons constaté un discours ambiant croissant sur les avancées technologiques et les défis avec lesquels les entreprises devaient composer pour mettre en place les nouvelles technologies et développer les compétences de la main-d'œuvre. Une autre phase de recherche, débutée à Montréal en 2015, a été reproduite à Toronto avec série d'entrevues entre 2018 et 2020.

Nous avons amorcé notre recherche en cartographiant l'industrie aérospatiale dans chacune des deux grappes (entreprises, syndicats, organismes intermédiaires, etc.). Pour ce faire, plusieurs ressources ont été mises à contribution, comme des sites Web, des rapports, de l'information découlant d'événements publics, des recherches précédentes sur chaque grappe ainsi que divers répertoires compilés sur l'industrie aérospatiale. Entre 2010 et 2020, nous avons réalisé en tout 139 entrevues (dont 97 depuis 2015) dans les grappes industrielles de Montréal et de Toronto. Ces entrevues ont été menées auprès des gestionnaires, des délégués

syndicaux, des représentants de l'industrie ou d'organismes intermédiaires, incluant divers acteurs impliqués dans le développement des compétences et des nouvelles technologies (voir la répartition des entrevues à l'annexe B). Ces entrevues semi-structurées visaient à mieux comprendre : 1) comment les acteurs appliquent et développent l'I4.0 dans les entreprises; 2) quels sont les défis associés à l'adoption de l'I4.0; 3) comment l'I4.0 modifie l'organisation du travail et les compétences de la main-d'œuvre; 4) comment les acteurs utilisent les ressources régionales à leur disposition. Nous avons également mené quatre groupes de discussion en mai 2019 avec 32 délégués syndicaux d'atelier dans la grappe industrielle de Montréal pour mieux comprendre le lien entre l'I4.0, l'organisation du travail et les compétences futures.

Toutes les entrevues ont été enregistrées, transcrites et rendues anonymes. Lorsque les personnes rencontrées ne souhaitent pas que la conversation soit enregistrée, il y a plutôt eu prise de notes. Plusieurs membres de l'équipe de recherche ont analysé et codé les données d'entrevues. Malheureusement, nos derniers séjours de collecte de données à Toronto ont été annulés en raison de la pandémie de COVID-19. Nous avons prévu de mener des groupes de discussion avec des délégués syndicaux d'atelier et des études de cas additionnelles portant sur des entreprises. Quelques entrevues ont été réalisées à l'aide de l'application Zoom. Même si le devis de recherche appliqué à Montréal n'a pu être complètement reproduit à Toronto, nous sommes néanmoins confiants que les données recueillies fournissent une base de comparaison solide. Nous avons également transmis une première ébauche de ce rapport à une douzaine d'informateurs clés de Montréal et de Toronto afin de valider nos résultats. Cette consultation nous a permis à la fois d'affiner nos analyses et d'obtenir des informations supplémentaires sur

<sup>7</sup> Ce programme de recherche à long terme a été financé par le Conseil de recherches en sciences humaines (CRSH), la phase la plus récente ayant reçu un financement conjoint du Centre des Compétences futures et du Diversity Institute à la Ted Rogers School of Management de l'Université Ryerson.



l'impact de la pandémie dans l'industrie.

Nous tenons à remercier toutes les personnes rencontrées qui ont accepté de partager leurs expériences avec nous. Nous remercions aussi les informateurs clés qui ont commenté la première version du rapport et nous ont donné l'occasion de valider nos résultats. Nous voulons aussi remercier l'équipe de l'Université Ryerson et les membres de notre équipe de recherche élargie : tous les étudiants et les collègues qui ont rendu possibles la conception et la réalisation de ce projet de recherche et

qui lui ont donné forme. Enfin, il faut souligner que notre équipe de recherche assume l'entière responsabilité de l'analyse et des conclusions que contient ce rapport. Toute omission d'un fait ou interprétation demeure la seule responsabilité des auteurs et les conclusions du rapport ne reflètent pas nécessairement les vues de nos partenaires de recherche ni celles des nombreuses parties prenantes de l'industrie avec qui nous avons abordé ces questions. Toutefois, il serait inapproprié de ne pas souligner dans quelle mesure nous avons







# L'industrie aérospatiale



pu tirer profit de leurs précieux commentaires.

Cette section aborde l'évolution et les tendances clés au sein de l'industrie aérospatiale et accorde une attention toute particulière aux grappes de Montréal et de Toronto. La section met également en lumière plusieurs défis que doit relever l'industrie.

## L'industrie aérospatiale mondiale

L'industrie aérospatiale regroupe l'ensemble des activités reliées au développement, à la production, à l'entretien et à la maintenance des aéronefs et des astronefs. Sa valeur totale à l'échelle mondiale est estimée à quelque 838 milliards de dollars (AeroDynamic Advisory et Teal Group Corporation, 2018). L'industrie est de nature cyclique et se caractérise par une vive concurrence. Elle dépend grandement de la recherche et développement (R et D) et son bassin de clients ainsi que sa capacité de production sont d'envergure internationale (Zhegu, 2013). Le segment de construction d'aéronefs pour l'aviation civile est un duopole, composé de deux importants concurrents, fabricants d'équipement d'origine (FEO) : Airbus et Boeing, qui se spécialisent dans les gros porteurs de 100 sièges et plus. En plus de ces deux avionneurs, il existe une poignée d'autres FEO d'aéronefs (p. ex., avions privés, petits FEO concurrents, avionneurs régionaux) qui se trouvent à la tête de chaînes

d'approvisionnement mondiales complexes.

Au-dessous des FEO se trouvent quatre niveaux de fournisseurs, y compris des constructeurs de moteurs d'avion et des intégrateurs de système de niveau 1 qui assument la responsabilité des lots techniques; les fournisseurs de niveau 2, qui fabriquent et mettent au point les pièces; les fournisseurs de niveau 3, qui fabriquent les composants; et les fournisseurs de niveau 4, qui offrent des services de transformation ou des matières premières (Emerson, 2012; Supply Chain Working Group, 2012).

Au cours des cinq dernières années, l'industrie mondiale a connu d'importants mouvements de consolidation. L'emprise du duopole a été raffermie en raison de l'acquisition par Airbus de la Série C de Bombardier et de la tentative de partenariat entre Boeing et Embraer (Hader et al., 2018). On assiste également au sein de l'industrie à un mouvement de consolidation parmi les fournisseurs de niveaux 1 et 2, notamment entre Safran et Zodiac, la formation de Collins Aerospace à partir d'UTAS et de Rockwell Collins ainsi que l'émergence de Mitsubishi en tant que FEO avec son achat du programme Mitsubishi Regional Jet (Hader et al., 2018).

Jusqu'à récemment, les projections de croissance de l'industrie ont été optimistes (Deloitte, 2020). En 2018, à l'échelle du globe, le nombre de passagers a atteint 4,3 milliards de personnes, alors que le parc aérien mondial

est passé de 9 700 aéronefs en 1986 à 30 300 en 2018 (Organisation de l'aviation civile internationale [OACI], 2018). Cependant, les incidences de la pandémie de COVID-19 et la diminution connexe des vols internationaux entraîneront des réductions immédiates et soutenues des ventes d'aéronefs, alors que les compagnies aériennes luttent pour leur survie (Bruno, 2020). On estime qu'il faudra entre trois et cinq ans à l'industrie pour se rétablir (Chapman et Wheatley, 2020).

## L'industrie aérospatiale canadienne

L'industrie aérospatiale canadienne est principalement orientée vers les marchés commerciaux, plutôt que vers la défense ou l'espace, et elle se classe parmi les trois premières au monde dans la production de simulateurs civils, de moteurs turbopropulseurs et d'hélicoptère, d'avions d'affaires, et d'avions régionaux (Innovation, Sciences et Développement économique Canada [ISDE] et Association des industries aérospatiales du Canada [AIAC], 2019). L'industrie compte des entreprises dans chaque niveau de fournisseurs, et chaque sous-système de fabricants commerciaux est représenté (c.-à-d. trains d'atterrissage, moteurs, structures d'aéronefs et assemblage final) (Zhegu, 2013).

La majeure partie (69 %) de l'apport de l'industrie au produit intérieur brut (PIB) provient de l'activité de construction aérospatiale, tandis que le reste (31 %) provient de l'entretien, des réparations et des révisions (MRO) (ISDE et AIAC, 2019). L'activité de fabrication dans le



**69 % de l'apport de l'industrie au produit intérieur brut (PIB) provient de l'activité de construction aérospatiale, 31 % provient de l'entretien, des réparations et des révisions.**

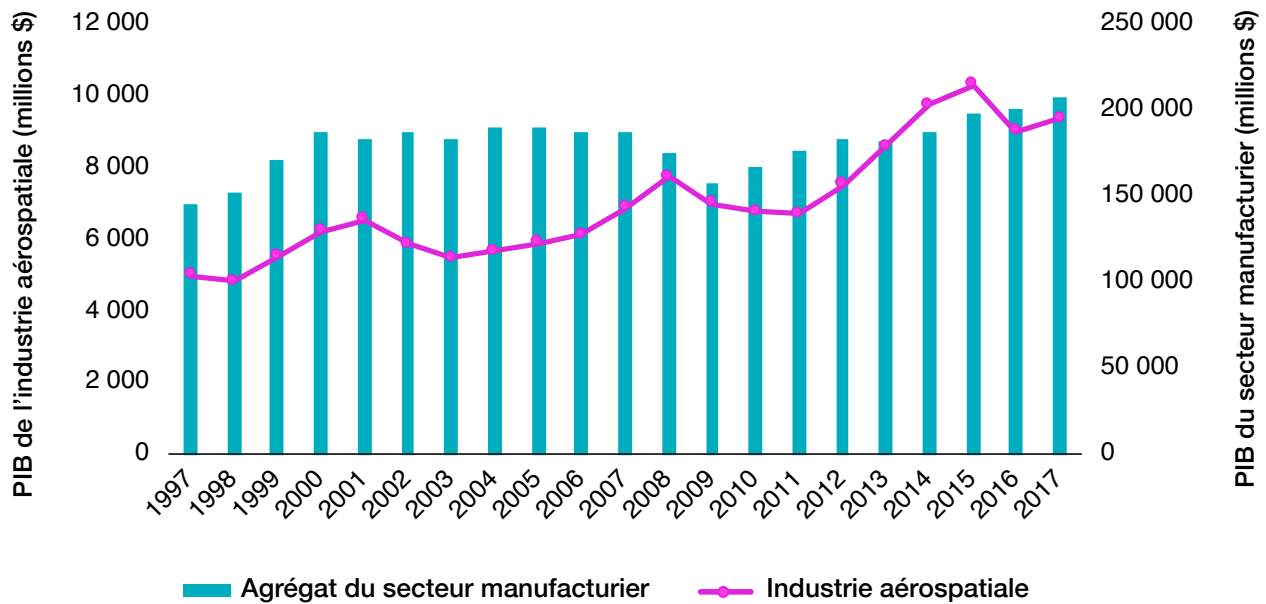
secteur aérospatial (code 3364 du SCIAN)<sup>8</sup> a augmenté d'environ 88 % entre 1997 et 2017,<sup>9</sup> comparativement à une hausse globale de l'activité manufacturière dans tous les secteurs industriels d'environ 43 % pour la même période. La figure 1 illustre les apports de l'industrie au PIB au cours des 20 dernières années.

8 Le code 3364 du SCIAN comprend les secteurs d'activité industrielle que voici : construction d'aéronefs, de missiles, de véhicules spatiaux et de leurs moteurs, des groupes propulseurs, du matériel auxiliaire et des pièces connexes. Le développement et la production de prototypes sont des activités confidentielles dans l'industrie, au même titre que la révision en usine et que la conversion d'aéronefs et des systèmes de propulsion. Nos données qualitatives portent principalement sur l'aviation civile et toutes les activités connexes : construction d'aéronefs, de moteurs, de groupes propulseurs, de matériel auxiliaire et de pièces connexes.

9 Il s'agit des données les plus récentes publiées par Statistique Canada en 2020.

**FIGURE 1**

**Apport au PIB du Canada de l'industrie aérospatiale et des secteurs manufacturiers**



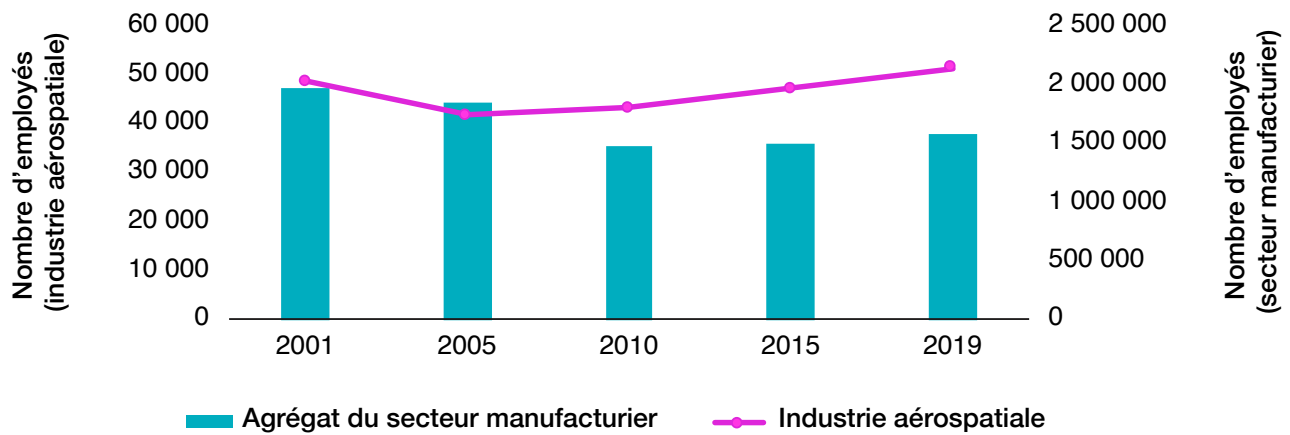
Remarque : L'« agrégat du secteur manufacturier » désigne l'agrégat global du secteur manufacturier au Canada (pour tous les secteurs manufacturiers), tandis que l'adjectif « aérospatial » désigne l'industrie aérospatiale (code 3364 du SCIAN).

Source : Statistique Canada (2020a)

L'industrie de fabrication aérospatiale du Canada a une structure analogue à celle de l'industrie aérospatiale mondiale à trois égards : 1) l'industrie dispose d'un petit nombre de FEO d'aéronefs et de moteurs; 2) elle comporte un nombre limité de constructeurs de moteurs et d'intégrateurs de systèmes de niveau 1 et 3) elle comprend un nombre plus important (environ 670) de petites et moyennes entreprises (PME) intégrées dans les chaînes d'approvisionnement locales

et mondiales (Emerson, 2012). L'industrie aérospatiale (y compris les activités d'entretien et de réparation) emploie directement 89 500 personnes (ISDE et AIC, 2019), dont 51 349 sont employées dans le secteur manufacturier de l'industrie aérospatiale (voir la figure 2). Même si, en moyenne, les emplois dans le secteur manufacturier ont enregistré un repli d'environ 14 % entre 2005 et 2019, le nombre d'emplois dans l'industrie aérospatiale a augmenté d'environ 22 % (voir la figure 2).



**FIGURE 2****Emplois dans les industries aérospatiale et manufacturière au Canada**

Remarque : L'« agrégat du secteur manufacturier » désigne l'agrégat global du secteur manufacturier au Canada (pour tous les secteurs manufacturiers), tandis que l'adjectif « aérospatial » désigne l'industrie aérospatiale (code 3364 du SCIAN).

Source : Statistique Canada (2020b)

## L'industrie aérospatiale à Montréal et à Toronto

Deux provinces comprennent 81 % de l'activité manufacturière de l'industrie aérospatiale canadienne : le Québec (51 %) et l'Ontario (30 %) (ISDE et AIC, 2019). En 2019, l'ensemble de l'industrie aérospatiale a généré 17,8 milliards de dollars de ventes annuelles au Québec et plus de 6 milliards de dollars de ventes annuelles en Ontario (ministère de l'Économie et de l'Innovation du Québec [MEIQ], 2020; Ontario Aerospace Council [OAC], 2019). Dans chacune de ces deux provinces, l'importance de l'industrie varie : l'apport au PIB de l'industrie est plus important au Québec qu'en Ontario; cette différence est d'autant plus significative si l'on prend également en compte l'apport du secteur manufacturier au PIB de chacune des deux provinces (voir la figure 3). En Ontario, l'apport de l'industrie aérospatiale est moins marqué en raison de l'importance du secteur manufacturier dans l'ensemble, ce qui est largement attribuable à la place prépondérante qu'occupe l'industrie automobile; l'apport relatif de l'industrie aérospatiale s'en trouve réduit. Au

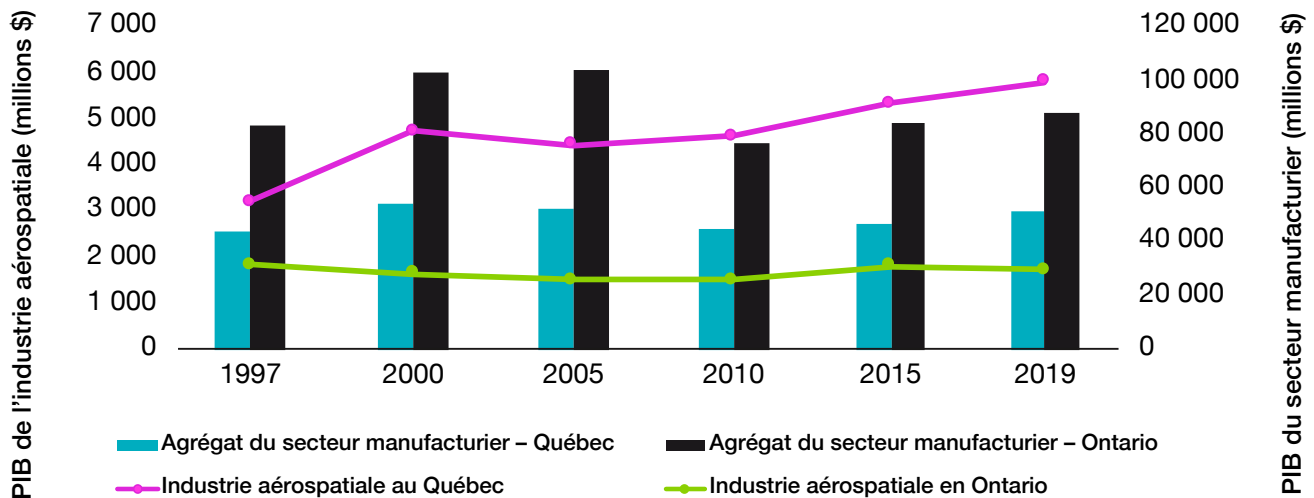
Québec, l'apport de l'industrie aérospatiale est plus marqué, notamment parce que l'activité manufacturière est comparativement moins importante.

Il existe aussi des différences entre les deux provinces dans la composition de l'industrie. Parmi les quelque 700 entreprises du secteur aérospatial en activité au Canada, environ 300 d'entre elles exercent leurs activités en Ontario (OAC, 2019) et 185 au Québec (MEIQ, 2020). La majeure partie des activités manufacturières de l'industrie aérospatiale ont lieu dans deux régions, concentrées soit dans la grande région métropolitaine de Montréal (98 %) soit dans la grande région métropolitaine de Toronto (80 %) (Canada 2020, 2012; Global Business Reports, 2017; MEIQ, 2020).<sup>10</sup> Les pressions exercées par les FEO sur les fournisseurs pour qu'ils deviennent des intégrateurs, combinées à leur volonté de réduire le nombre total de fournisseurs, ont entraîné une réduction du nombre d'entreprises aérospatiales au pays (voir la figure 4).

<sup>10</sup> Dans ce rapport, on utilisera simplement « Montréal » et « Toronto » pour désigner les régions métropolitaines de Montréal et de Toronto respectivement.

**FIGURE 3**

**Apport au PIB de l'industrie aérospatiale par rapport à l'apport au PIB du secteur manufacturier, par province**



Remarque : L'« agrégat du secteur manufacturier » désigne l'agrégat du secteur manufacturier provincial (pour tous les secteurs manufacturiers), tandis que l'adjectif « aérospatial » désigne l'industrie aérospatiale (code 3364 du SCIAN).

Source : Statistique Canada (2020c)

La grappe industrielle de Montréal, comparativement à celle de Toronto, est de moindre importance en ce qui a trait au nombre total d'entreprises, notamment de PME, mais elle compte un plus grand nombre de firmes multinationales, dont quatre FEO et plus de dix fournisseurs de niveau 1 (p. ex., CAE et Pratt & Whitney) (MEIQ, 2020). La grappe industrielle de Toronto est plus étendue sur le plan géographique et comporte un nombre d'entreprises beaucoup plus élevé, dont la plupart sont des PME (Canada, 2020, 2012). Elle est également composée d'environ dix fournisseurs de niveau 1 (p. ex., Pratt & Whitney, Safran).<sup>11</sup> Historiquement, la grappe industrielle de Toronto a été dominée par un seul FEO : Bombardier (Niosi et Zhegu, 2005). De récents

changements, survenus après que Bombardier s'est départi de certaines gammes de produits, ont accru le nombre de FEO, qui comprend dorénavant De Havilland et Mitsubishi.

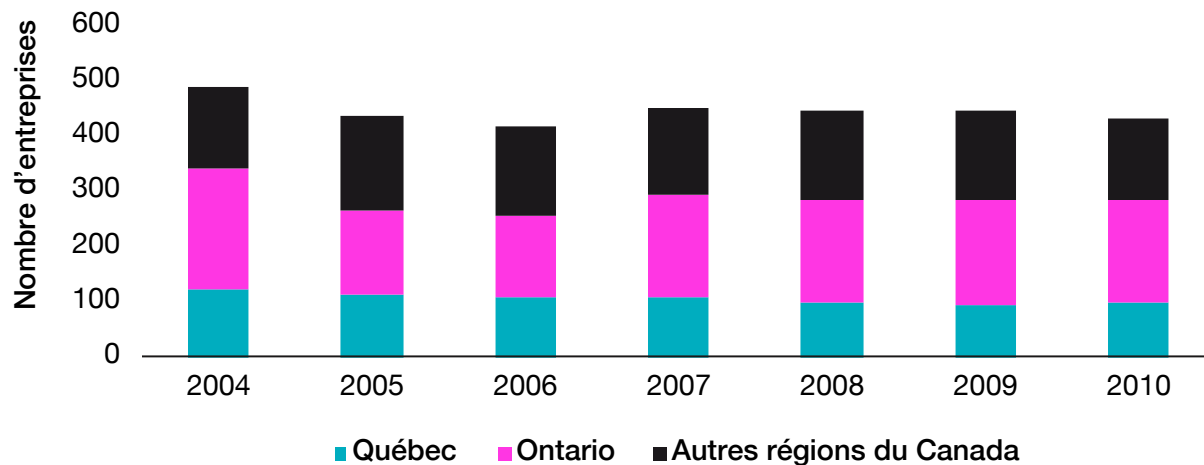
La majeure partie des emplois dans le secteur manufacturier aérospatial se trouve dans les grappes industrielles de Montréal et de Toronto (voir la figure 5). Montréal accapare la majeure partie des emplois; toutefois, si l'on compare 2005 à 2019, l'Ontario a enregistré un pourcentage de croissance globalement plus important (30 % comparativement à 22 % au Québec).

Environ 70 % des travailleurs dans l'industrie de l'aviation et le secteur aérospatial sont des hommes et 26 % sont des travailleurs immigrants (Conseil canadien de l'aviation et de l'aérospatiale [CCAA], 2018). Ces chiffres surestiment sans doute la présence des femmes dans l'industrie aérospatiale. Les données les plus récentes du Québec indiquent que

11 Même si la composition des grappes industrielles de Montréal et de Toronto diffère, il y a lieu de préciser qu'il existe un grand nombre d'établissements en activité dans les deux grappes, qui agissent à titre de filiales d'une même firme multinationale.

**FIGURE 4**

**Nombre d'entreprises manufacturières dans l'industrie aérospatiale par province (code 3364 du SCIAN)**

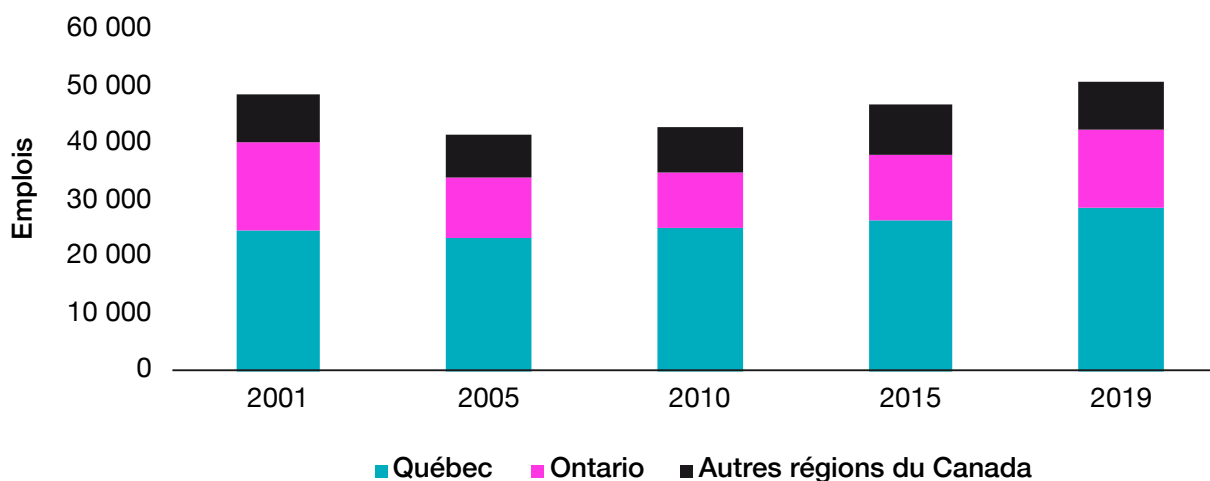


Remarque : La publication des données sur le nombre d'entreprises a cessé après 2010 et l'ensemble des données a été entièrement archivé en 2012.

Source : Statistique Canada (2012)

**FIGURE 5**

**Emplois dans l'industrie aérospatiale par province (code 3364 du SCIAN)**

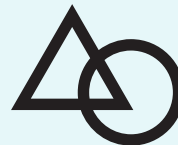


Source : Statistique Canada (2020b)

les femmes constituent 21 % de la main-d'œuvre, mais que ces employées occupent principalement (80 %) des postes dans l'administration. Les femmes ne constituent que 12 % de la main-d'œuvre dans les corps de métier, et approximativement 20 % du personnel scientifique et technique (Comité sectoriel de main-d'œuvre en aérospatiale au Québec [CAMAQ], 2016, p. 7). Plusieurs études ont fait état d'une situation où, même dans des domaines où les compétences sont rares, les immigrants et les femmes font face à des problèmes d'accès à l'industrie (Braham et Tobin, 2020; Ng et Gagnon, 2020). Des entreprises des deux grappes industrielles<sup>12</sup> signalent qu'elles ont progressé sur le plan de la diversité ethnoculturelle de leur main-d'œuvre. Toutefois, un bon nombre de ces mêmes entreprises soutiennent que la diversité de genre est un défi encore plus grand, compte tenu du faible nombre de femmes diplômées en sciences, technologie, ingénierie et mathématiques (STIM) et dans les corps de métier.

En Ontario et au Québec, l'industrie se caractérise aussi par une main-d'œuvre vieillissante, dont l'âge moyen est d'environ 45 ans (CAMAQ, 2016; CCAA, 2018). Ce constat est en partie corroboré par la difficulté d'attirer une génération de travailleurs plus jeunes dans l'industrie aérospatiale canadienne. Selon les deux principaux syndicats de l'industrie, l'AIMTA (Association internationale des machinistes et des travailleurs de l'aérospatiale) et UNIFOR, qui représentent environ un tiers de la main-d'œuvre au Québec et un cinquième de la main-d'œuvre en Ontario (Castonguay, 2017), cette tendance est accentuée par le fait que les entreprises recrutent souvent des travailleurs d'expérience, plutôt que des jeunes par le biais de programmes de stage. Les deux

*Environ **70 %** des travailleurs dans l'industrie de l'aviation et le secteur aérospatial sont des **hommes** et 26 % sont des travailleurs immigrants.*



*Les femmes ne constituent que **12 %** de la main-d'œuvre dans les corps de métier, et approximativement **20 % du personnel scientifique et technique.***

syndicats soutiennent que le recrutement de travailleurs plus jeunes est problématique et nécessite la création de bons emplois stables avec un travail valorisant. Pour s'attaquer au problème, les syndicats exercent des pressions sur le gouvernement fédéral afin qu'il élabore une stratégie nationale sur l'avenir de l'industrie aérospatiale canadienne (AIMTA, 2019; UNIFOR, 2019). Et pourtant, l'industrie aérospatiale possède plusieurs atouts susceptibles de la rendre attrayante pour les travailleurs, puisqu'il s'agit d'une industrie de haute technologie qui offre des salaires concurrentiels. En 2016, le salaire horaire moyen était d'environ 33 \$ l'heure, soit un taux horaire 40 % plus élevé que la moyenne canadienne (UNIFOR, 2016).

<sup>12</sup> Information tirée des données d'entrevue.





## Perspectives d'avenir

La situation de l'industrie aérospatiale canadienne est encore relativement bonne, même dans le contexte de la pandémie et d'autres difficultés économiques et financières. Ces écueils continueront d'exercer une pression relativement importante sur les acteurs du marché du travail, y compris les employeurs, les travailleurs et les décideurs politiques. Cela étant dit, d'autres tendances importantes se manifestent et posent des menaces supplémentaires.

En premier lieu, la concentration de l'industrie canadienne sur les marchés commerciaux de l'aérospatiale, plutôt que sur les programmes de défense ou de l'espace, réduit considérablement l'accès aux investissements du gouvernement fédéral, contrairement à ce que vivent les concurrents importants aux États-Unis, au Brésil ou en Europe. Les associations d'entreprises et les syndicats font valoir depuis longtemps que l'industrie canadienne, comparativement à ses pairs, se trouve désavantagée et ont exhorté le gouvernement fédéral à investir davantage afin que l'industrie puisse avoir un niveau de compétitivité équivalent.

En deuxième lieu, l'acquisition de la Série C par Airbus et, par conséquent, le retrait consécutif de Bombardier du marché des jets régionaux n'a pas uniquement affaibli la seule firme d'ancrage canadienne présente à la fois à Toronto et Montréal, mais cette transaction pourrait également avoir un impact négatif sur les possibilités d'emploi et l'investissement en R et D au Canada. À titre d'illustration, le développement de la Série C de Bombardier initialement estimé à 3,5 milliards de dollars a finalement coûté près de 6 milliards de dollars (Dubuc, 2020).

Enfin, la main-d'œuvre vieillissante et la difficulté du Canada à recruter une nouvelle génération de travailleurs pour les emplois de l'aérospatiale pourraient réduire la capacité de l'industrie à prendre le virage de l'I4.0. Une transition fructueuse nécessitera de l'investissement non seulement dans la formation, mais également dans la mise en place de bons emplois qui offrent un travail valorisant et de meilleure qualité.

# Innovation, I4.0 et la transformation du travail et des compétences



Cette section s'appuie sur plusieurs corpus de données provenant de Statistique Canada et de notre recherche qualitative pour examiner les tendances générales associées à l'adoption de l'I4.0. Elle identifie quatre étapes que franchissent les entreprises dans la mise en œuvre de l'I4.0 et identifie son impact I4.0 sur le marché du travail, l'organisation du travail et les compétences. Elle traite les questions suivantes :

- > Comment la structure des emplois et les professions évoluent-elles? Quelles sont les professions les plus touchées par une pénurie de main-d'œuvre?
- > Les nouvelles technologies confèrent-elles plus d'autonomie et une plus grande discrétion aux travailleurs dans l'organisation du travail? Comment les formes de contrôle à l'égard du travail évoluent-elles? Observe-t-on un accroissement de la surveillance sur les lieux de travail?
- > Comment les exigences en matière de compétences évoluent-elles ? L'I4.0 provoque-t-elle un processus de déqualification ou un perfectionnement des compétences? Quelles sont les nouvelles compétences requises?

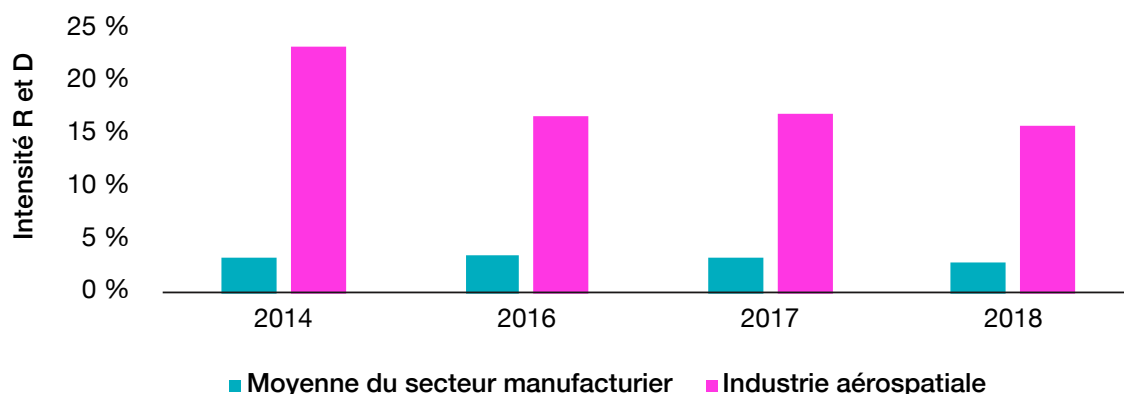
## Technologie et développement des compétences dans l'industrie aérospatiale canadienne

L'industrie aérospatiale mondiale dépend fortement des investissements en R et D (Zhegu, 2013) et affiche une grande intensité de R et D comparativement à d'autres industries manufacturières. On perçoit souvent cette industrie comme à la fine pointe de l'innovation technologique (Hartley, 2015), mais elle n'est pas à l'avant-garde dans l'adoption de l'I4.0. À l'échelle mondiale, certains rapports indiquent que les entreprises des secteurs de l'aérospatiale et de la défense prennent du retard dans la mise en œuvre de nouvelles technologies associées à l'I4.0 et à l'automatisation (Hader et al., 2018).

Diverses raisons sont avancées pour expliquer ce sous-investissement dans les technologies émergentes. Selon certains comptes rendus, des entreprises ont déclaré ne pas savoir avec certitude dans quels secteurs d'activité les nouvelles technologies numériques pourraient s'appliquer et comment les déployer (Hader et al., 2018). Parmi les autres obstacles qui ralentissent les taux d'adoption, nous pouvons citer la réglementation stricte en matière de sécurité et les certifications inhérentes ainsi que le caractère inabouti de certaines technologies comme l'intelligence artificielle

**FIGURE 6**

**Intensité de la R et D dans l'industrie aérospatiale par rapport à l'industrie manufacturière au Canada**



Remarque : La « moyenne du secteur manufacturier » désigne la moyenne globale du secteur manufacturier au Canada (pour tous les secteurs manufacturiers), tandis que l'adjectif « aérospatial » désigne l'industrie aérospatiale (code 3364 du SCIAN).

Source : Calculs réalisés par les auteurs pour les fins de cette étude à partir des données de Statistique Canada sur le PIB (Statistique Canada, 2020a) et des chiffres de R et D dans le secteur manufacturier (Statistique Canada, 2020d) ainsi que des données d'ISDE et de l'AIAC relatives aux chiffres concernant directement la R et D (ISDE et AIAC, 2015; 2017; 2018; 2019).<sup>13</sup>

(IA) (Russel et al., 2019). Une bonne partie des<sup>13</sup> grandes entreprises de l'industrie n'utilisent pas, à l'heure actuelle, les applications les plus radicales ou fondamentales de l'I4.0, y compris le déploiement de nouveaux modèles d'affaires (Hader et al., 2019). Quand elles sont adoptées par une entreprise, les technologies de l'I4.0 sont principalement appliquées à améliorer les procédés de fabrication existants en usine et la gestion de la chaîne d'approvisionnement (Hader et al., 2018). Par ailleurs, certains fournisseurs de niveau 1 ont adopté quelques applications d'automatisation et de mégadonnées de l'I4.0, en lien avec le segment croissant et lucratif des services d'après-vente (Deloitte, 2020).

L'industrie aérospatiale canadienne revêt une grande importance, non seulement en raison de son apport au PIB, mais également parce qu'elle investit massivement dans des activités d'innovation. Ces activités contribuent au système d'innovation canadien dans son ensemble et créent des emplois hautement qualifiés. Les entreprises de l'industrie aérospatiale canadienne collaborent avec une brochette d'acteurs en R et D, y compris le milieu universitaire, le gouvernement, d'autres entreprises, des fournisseurs et des clients (ISDE et AIAC, 2018). Les entreprises aérospatiales collaborent avec le milieu universitaire et le gouvernement beaucoup plus que la moyenne des entreprises manufacturières : trois fois plus avec le milieu universitaire (73 %), et deux fois plus avec le gouvernement (39 %) (ISDE et AIAC, 2019). En 2019, les investissements en R et D dans l'industrie canadienne ont été évalués à 1,4 milliard de dollars (ISDE et AIAC, 2019). À l'échelle de l'industrie, l'intensité de l'activité

13 Pour produire des données comparables tirées de publications de l'industrie, nous avons utilisé des statistiques en R et D se rapportant directement à l'industrie aérospatiale. Les données sur le PIB ont fait l'objet d'une comparaison avec les données sur la R et D pour la même année de publication, selon la formule retenue par ISDE et l'AIAC (2015; 2017; 2018; 2019).



en R et D dans l'aérospatiale<sup>14</sup> est demeurée considérablement élevée depuis 2014 : au moins 15 % de plus que la moyenne de 3 % dans le secteur manufacturier en général (voir la figure 6). Cette situation est vraisemblablement attribuable à une série de facteurs, dont l'acquisition ou l'intégration de nouvelles technologies par l'industrie, le développement de nouveaux produits comme la Série C et l'innovation additionnelle associée au caractère modulaire de cette industrie arrivée à maturité (Comité d'évaluation ministériel, 2013).

## Adoption de l'I4.0

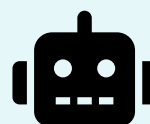
Les entreprises de l'industrie aérospatiale (code 3364 du SCIAN), comparativement à celles du secteur manufacturier, sont deux fois plus susceptibles (29 % par rapport à 15 %) de participer au développement de nouvelles technologies (Statistique Canada, 2014). Les données de Statistique Canada (2014) indiquent que les entreprises participent à ce développement dans le cadre de partenariats, que ce soit avec le milieu universitaire (15 % pour l'industrie aérospatiale, par rapport à 4 % pour le secteur manufacturier en moyenne), ou le secteur privé (11 % et 5 % respectivement). Un rapport récent de Statistique Canada sur la robotique<sup>15</sup> (Dixon, 2020) a relevé qu'au Canada entre 2014 et 2017, la diffusion des robots s'était rapidement répandue au-delà de l'industrie automobile dans une gamme plus étendue d'industries manufacturières et de services. Sur le plan géographique, elle se concentre autour des grandes villes, notamment les régions métropolitaines de Montréal et de Toronto.

14 L'intensité de la R et D désigne le taux des investissements en R et D par rapport au PIB dans l'industrie.

15 Nous appelons « Industrie 3.0 » (« I3.0 ») les infrastructures antérieures à l'I4.0.



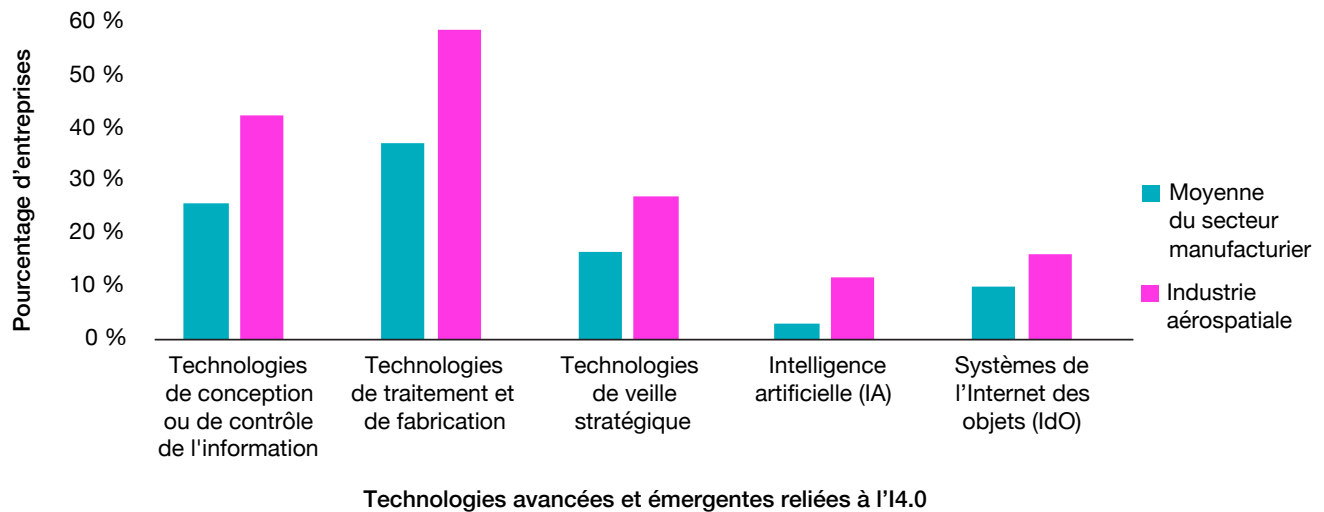
**Les entreprises de l'industrie aérospatiale, comparativement à celles du secteur manufacturier, sont deux fois plus susceptibles (29 % par rapport à 15 %) de participer au développement de nouvelles technologies.**



*Un rapport récent de Statistique Canada sur la robotique a relevé qu'au Canada, entre 2014 et 2017, la diffusion des robots s'était rapidement répandue au-delà de l'industrie automobile dans une gamme plus étendue d'industries manufacturières et de services.*

Bien qu'il n'y ait pas de mesure directe du taux d'adoption de l'I4.0 dans l'industrie canadienne, il existe des indicateurs sur la diffusion des technologies associées à l'I4.0. Bon nombre sont considérées comme des technologies « avancées » que les entreprises adoptent à la pièce, sans épouser totalement le concept de l'I4.0, alors que d'autres technologies sont qualifiées d'émergentes. La figure 7 présente des données de 2017, qui indiquent que tous les types de technologie mis de l'avant sont utilisés plus largement dans l'industrie aérospatiale que dans la moyenne du secteur manufacturier, même si les écarts varient selon les types de technologie.<sup>16</sup>

16 Pour obtenir des définitions complètes, veuillez consulter ISDE et AIAC (2019).

**FIGURE 7****Utilisation des technologies avancées et émergentes de l'I4.0 dans les secteurs manufacturiers et de l'aérospatiale au Canada**

Remarque : La « moyenne du secteur manufacturier » désigne la moyenne globale du secteur manufacturier au Canada (pour tous les secteurs manufacturiers), tandis que l'adjectif « aérospatial » désigne l'industrie aérospatiale (code 3364 du SCIAN).

Source : Statistique Canada (2017)

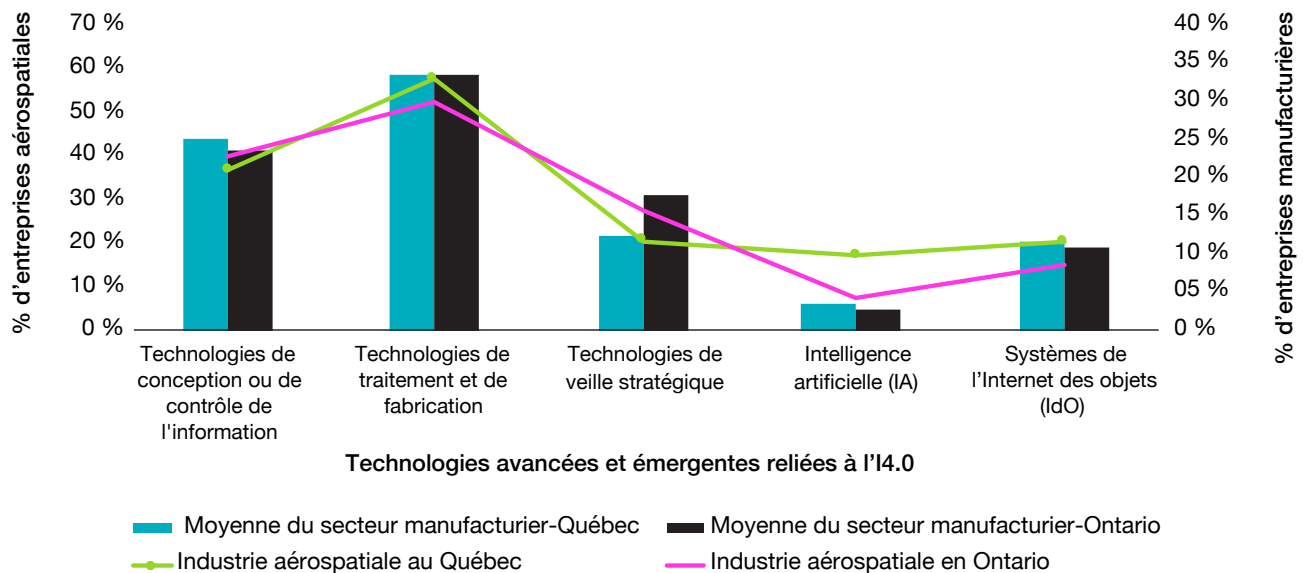
Certaines de ces technologies avancées (p. ex., technologies de traitement ou de fabrication) sont largement utilisées, puisque 56 % des entreprises aérospatiales incorporent des technologies comme l'usinage à commande numérique par ordinateur (CNC), la fabrication additive et les robots. En ce qui concerne les technologies de conception et de contrôle de l'information, les données indiquent qu'au plus, 41 % des entreprises disposent d'un progiciel de gestion intégrée (PGI) (ou d'un réseau de capteurs) pour recueillir des données à partir de leurs machines. Qui plus est, 26 % des entreprises ont signalé utiliser des technologies de veille stratégique, comme la surveillance en temps réel et l'affichage de données aux fins de la prise de décision. Ces données suggèrent qu'au plus, 25 % des entreprises disposent de l'infrastructure technologique leur permettant d'exploiter une usine entièrement virtuelle. Enfin, seulement 16 % des entreprises déclarent disposer de systèmes de l'Internet des objets (IdO) et seulement 11 % utilisent l'intelligence artificielle.

À l'échelle des provinces, l'adoption par les entreprises aérospatiales des technologies avancées et émergentes nécessaires à l'I4.0 est la même dans les deux grappes industrielles (voir la figure 8). Seules deux technologies affichent un écart de taux d'adoption de 7 % ou plus entre les deux provinces: 1) les technologies de veille stratégique (comme la surveillance en temps réel et l'exploitation des données aux fins de la prise de décision), qui sont plus largement utilisées en Ontario et 2) l'intelligence artificielle, que les entreprises ont adoptée dans une plus large mesure au Québec.

Un rapport qui traite de l'adoption de l'I4.0 dans la grappe de Montréal (CAMAQ, 2016) corrobore bien ces données. Parmi les 163 entreprises aérospatiales qui ont répondu au questionnaire, 47 % ont implanté un système PGI, 42 % disposent d'un logiciel de gestion des ressources humaines; 26 % ont des robots; 19 % ont adopté un système de gestion des mégadonnées; 13 % ont mis en place

**FIGURE 8**

**Utilisation de technologies avancées et émergentes de l'I4.0 au Québec et en Ontario**



Remarque : « La moyenne du secteur manufacturier » désigne la moyenne globale du secteur manufacturier au Canada (pour tous les secteurs manufacturiers), tandis que l'adjectif « aérospatial » désigne l'industrie aérospatiale (code 3364 du SCIAN).

Source : Statistique Canada (2017)

la fabrication additive et 10 % ont implanté l'Internet des objets (CAMAQ, 2016). Ces données laissent entendre qu'il y a des écarts considérables entre les entreprises quant à l'adoption des technologies associées à l'I4.0.

Nos données qualitatives reflètent ces tendances générales, et mettent en évidence qu'un grand nombre d'entreprises, aussi bien grandes que petites, n'ont pas adopté les technologies liées à l'I4.0. Soit que ces entreprises jugent non pertinent d'adopter ces technologies, soit qu'elles n'en ont pas les ressources et les capacités, soit qu'elles occupent un créneau qui est suffisamment sûr pour rendre moins pressante l'adoption de l'I4.0. Certaines entreprises sont clairement engagées dans la mise en œuvre de l'I4.0, mais à des rythmes qui varient. Partant des données qualitatives, il est possible de distinguer quatre étapes de développement dans le virage vers l'I4.0, comme l'illustre la figure 9. Nous proposons de les détailler brièvement.

**Capture et formatage des données**

Ces entreprises en sont à l'étape de mise en œuvre de l'I3.0, mais utilisent ces technologies en vertu d'une stratégie pour migrer vers l'I4.0. Ces premiers stades concernent généralement des entreprises qui souhaitent améliorer leur infrastructure technologique (par exemple par l'achat de robots, de systèmes de PGI et de capteurs de données) ou améliorer la collecte de données. À ce stade, les entreprises éprouvent généralement des difficultés liées à la fiabilité des données recueillies :

*Les machines peuvent nous renseigner sur l'état d'usure des outils. Par exemple, nous indiquer à quel moment il faut les remplacer et les évaluer, et les ajuster automatiquement. En soi, c'est déjà là une grande, très grande difficulté. Accomplir cette tâche n'a rien d'évident... J'éprouve encore de la difficulté à connecter certains éléments. Je ne dispose pas des données réelles. Donc, si, par exemple l'information dont je dispose me dit qu'une machine fonctionne, je me rends sur le plancher de l'atelier, et je constate qu'elle est arrêtée.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL



**FIGURE 9**

**Progression de l'14.0**



Source : Création des auteurs

### Interconnexion des systèmes

Cette étape repose sur l'intégration de technologies numériques de base qui permettent de connecter des machines. Cela comprend des ordinateurs à commande numérique, des écrans tactiles, des serveurs informatiques et d'autres logiciels de gestion (p. ex., PGI et système d'exécution manufacturier). Cette étape permet aux machines de produire des données liées, entre autres, à leur productivité ou à leur état de fonctionnement. Le contrôle automatisé réduit par ailleurs la saisie manuelle des données, mais les données ne sont pas intégrées ou liées à la prise de décision. Une des principales difficultés de cette étape tient à l'analyse des données. En règle générale, les entreprises accumulent un vaste corpus de données, mais éprouvent de la difficulté à les traiter :

*Les données existent, certes, mais nous n'en utilisons pas beaucoup en ce moment. Donc, à vrai dire, nous devons consacrer plus de temps à l'utilisation et à l'exploitation de nos données... Lorsque l'on sait exactement ce qu'il faut chercher, il devient plus intéressant d'extraire les données de la machine, ou parfois de créer les données, car elles sont présentes, mais elles ne sont tout simplement pas exploitées.*

— GESTIONNAIRE, PME, TORONTO

### Interconnexion des systèmes et des équipes de travail

Cette étape aboutit à l'interconnexion des systèmes d'automatisation et des équipes de travail. Les nouvelles technologies numériques (en particulier les systèmes de commande des processus et l'IdO) permettent l'interconnexion entre les dispositifs technologiques, ce qui met à la disposition des équipes de travail des données en temps réel, en appui à la prise de décision. Cette interconnexion des technologies

au sein de l'usine peut aussi être liée à un système d'intégration externe en connectant directement les machines aux fournisseurs et aux clients :

*La synchronisation de l'entreprise est importante au sein [de l'entreprise] en ce moment... Si vous synchronisez les activités de ces diverses organisations, vous gagnez en rapidité d'exécution, et les données produites peuvent être exploitées par plusieurs organisations. Encore là, il s'agit d'un avantage concurrentiel. Les données constituent l'élément facilitateur. Nous parlons des données et de toute la numérisation des données, de sorte que les données ne passent pas par les personnes, mais plutôt par les systèmes.*

— GESTIONNAIRE, GRANDE ENTREPRISE, TORONTO

## Opérationnalisation d'un système intelligent

La quatrième étape consiste en l'opérationnalisation d'un système intelligent qui traite les données produites, puis formule des éléments prévisionnels. Ces éléments font ensuite l'objet d'une analyse par les équipes de travail ou au moyen d'un algorithme doté de capacités de prise de décision autonome. Ces décisions guident les actions des machines, ce qui donne aux travailleurs un rôle de surveillance important. La responsabilité des gestionnaires de production et des employés réside donc dans la prise de moyens pour garantir le fonctionnement et l'exploitation optimaux du système lorsqu'un problème survient :

*Chaque machine est assortie d'une commande. Parmi nos effectifs, nous avons des gens qui exercent des fonctions diverses – des superviseurs, des programmeurs, des machinistes – et nous avons des systèmes de programmation comme le*



*Ces observations à partir de données quantitatives et qualitatives font état d'importants écarts entre les entreprises dans la mise en œuvre de l'I4.0.*

*PGI et des systèmes de gestion de la qualité. La gestion de tous ces systèmes est assurée à partir d'un bureau central. Le bureau central dispose d'une base de données; on y trouve des serveurs, des applications, des algorithmes et des analystes. Et l'analyse [des données] permet de recueillir de l'information sur toutes les diverses fonctions. Ce que je veux dire, c'est que l'information circule dans les deux sens... Tout un chacun peut se parler. Il s'agit donc réellement d'une interconnexion entre les différents systèmes afin d'utiliser les données disponibles.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

**Ces observations à partir de données quantitatives et qualitatives font état d'importants écarts entre les entreprises dans la mise en œuvre de l'I4.0. Si bon nombre d'entreprises n'ont pas entamé le virage vers l'I4.0, d'autres y sont résolument engagées. À l'avenir, certaines de ces entreprises exploiteront une usine virtuelle, tandis qu'elles évalueront s'il faut modifier leurs modèles d'affaires. Certaines entreprises aérospatiales monétisent les données qu'elles produisent, leurs propriétaires décrivant même leurs entreprises comme des « entreprises de TI », plutôt que comme des « ateliers d'usinage »**

```
4 # Prevent database truncation if the environment is production
5 abort("The Rails environment is running in production mode!")
6 require 'spec_helper'
7 require 'rspec/rails'
8
9 require 'capybara/rspec'
10 require 'capybara/rails'
11
12 Capybara.javascript_driver = :webkit
13 Category.delete_all; Category.create
14 Shoulda::Matchers.configure do |config|
15   config.integrate do |with|
16     with.test_framework :rspec
17     with.library :rails
18   end
19 end
20
21 # Add additional requires below this line. It is recommended that you
22 # require supporting ruby files with dependencies in your spec/
23 # support/ and its subdirectories. For example, you can add
24 # run as spec files by default. The way to do this is to add
25 # in _spec.rb will both be required and run as spec files.
26 # twice. It is recommended that you do this in your spec/
```

ou des « fabricants de pièces ». Entre ces deux extrêmes, on trouve des entreprises à divers stades, bon nombre d'entre elles sont à actuellement à bâtir leur infrastructure numérique pour recueillir et organiser les données pertinentes. Les entreprises traversent les étapes de manière non séquentielle (voir la figure 9), et souvent, elles vont et viennent d'une étape à l'autre. Par exemple, une entreprise peut passer directement de la capture et du formatage de données à l'opérationnalisation d'un système intelligent. Le parcours d'une entreprise au travers des étapes (et le temps qu'elle passe à chacune d'elles) dépend de l'ampleur de son projet d'I4.0.

Un des plus grands défis, qui se pose même pour les entreprises bien engagées dans l'adoption de l'I4.0, concerne l'incompatibilité des divers systèmes (par ex. le PGI et la gestion des données sur les produits). Un cadre supérieur a signalé qu'il fallait procéder « au massage des données pour que les choses fonctionnent ». Il semble donc que pour réaliser pleinement l'I4.0 et sa promesse d'interconnexion des systèmes, il faut impérativement travailler à l'échelle de l'industrie pour établir des architectures compatibles qui soutiennent ce processus. Sans une coordination plus poussée, l'I4.0 ne pourra pas se développer partout de la même façon ou au même rythme. Il s'ensuit que l'incidence sur le travail et le profil des compétences de la main-d'œuvre variera selon le rythme et les trajectoires des projets d'I4.0, projets dont la portée peut être plus ou moins ample.



## L'I4.0, l'avenir du travail et les compétences

À quoi le travail ressemblera-t-il, dans l'industrie aérospatiale canadienne, à l'ère de l'I4.0? L'I4.0 accroîtra-t-elle et perfectionnera-t-elle les compétences des travailleurs, ou entraînera-t-elle plutôt leur érosion? L'I4.0 favorisera-t-elle le déploiement de travailleurs polyvalents maîtrisant la technologie et la gestion de données, ou l'ensemble de la main-d'œuvre, allant des gestionnaires aux travailleurs d'atelier, se trouvera-t-il régi par les données? Pour aborder ces questions, cette section s'appuie sur des données quantitatives extraites de divers rapports, et des données qualitatives recueillies auprès de gestionnaires et des délégués syndicaux d'atelier. Il existe beaucoup de points communs et de convergence dans les récits des gestionnaires et des représentants des travailleurs en ce qui concerne l'évolution du travail et des compétences dans l'I4.0. Il y a également des divergences, qui reflètent les points litigieux quant au sens à donner au travail et aux compétences dans l'I4.0.

On comprend depuis longtemps que le déploiement de nouvelles technologies et leur adoption relèvent à la fois d'un processus technique et d'un processus social qui repose sur des négociations et des compromis entre les travailleurs, les gestionnaires et le personnel technique et scientifique. Il est par ailleurs également bien établi qu'il existe des rapports de complémentarité entre les types de technologie, l'organisation du travail et le déploiement des compétences (Brynjolfsson et al., 2019). L'investissement dans une nouvelle technologie peut contribuer à la performance d'une entreprise, surtout si des changements complémentaires sont apportés à l'organisation du travail et aux compétences (Bresnahan et al., 2002). Pour examiner la trajectoire et

l'impact de l'I4.0, cette section insiste sur la nécessité de prendre en considération les liens étroits entre les tendances du marché du travail, l'organisation du travail et l'évolution des compétences.

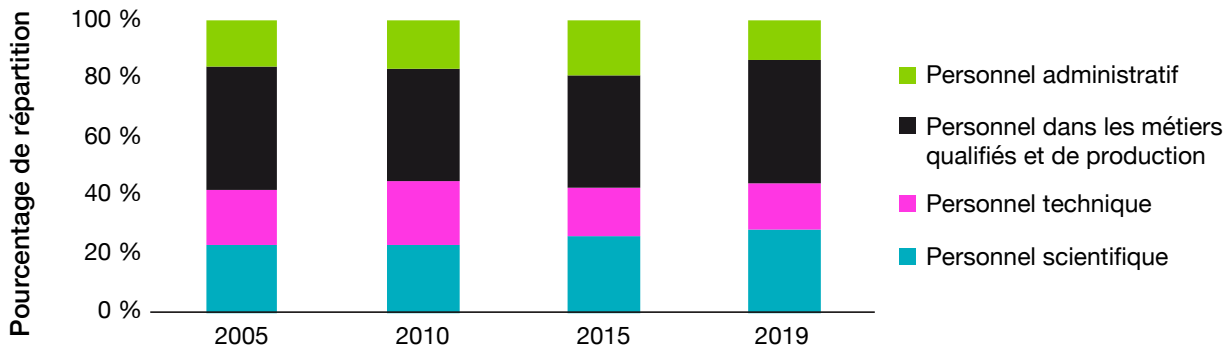
### Les tendances du marché du travail

Avant la pandémie de COVID-19, le nombre d'emplois en Ontario et au Québec était en croissance constante. Même si l'on dispose de peu de données sur les professions à l'échelle du Canada, les données du Québec indiquent que l'industrie aérospatiale emploie une main-d'œuvre très qualifiée. En 2019, plus de 40 % de la main-d'œuvre se composait de personnel scientifique ou technique; parmi le personnel dans les métiers (qui compose environ 40 % des effectifs totaux), neuf travailleurs sur dix détenaient une formation qualifiante (CAMAQ, 2020, p. 7).

Comme le met en lumière la figure 10, au cours des 15 dernières années, la composition de la main-d'œuvre (en termes de pourcentage) est demeurée relativement stable, ne subissant que de légers changements entre 2005 et 2019 (CAMAQ, 2005; 2010; 2015; 2019). Au cours de cette période, le pourcentage de la catégorie de personnel dans les métiers a enregistré un léger recul, tandis que celui du personnel administratif et technique a diminué de manière plus importante. Le personnel scientifique est la seule catégorie dont l'importance a augmenté. Par ailleurs, l'émergence d'autres professions comme celle de technicien en cybersécurité, d'analyste d'I4.0 et d'intégrateur de systèmes I4.0, bien que ne touchant qu'un petit pourcentage d'entreprises, traduit l'incidence continue de l'adoption de l'I4.0.

**FIGURE 10**

**Répartition des emplois par catégorie de personnel dans l'industrie aérospatiale au Québec**



Source : Données recueillies par les auteurs dans les rapports du CAMAQ (2005; 2010; 2015; 2019).

Il est évident que la demande pour les catégories de personnel qualifié dans l'industrie demeure élevée. Le Québec recueille depuis de nombreuses années de l'information sur l'évolution de la main-d'œuvre, mais depuis quelques années, il fournit aussi des données sur les professions les plus touchées par une pénurie (CAMAQ, 2018; 2019; 2020).<sup>17</sup> À la lumière de ces données, il apparaît que les machinistes et les programmeurs (en CNC ou conventionnels) constituent les catégories professionnelles pour lesquelles le recrutement est le plus difficile; plus de 40 entreprises déclarent avoir de la difficulté à recruter dans cette catégorie de personnel. Il y a également eu des difficultés accrues dans le recrutement de techniciens d'entretien d'aéronefs, ainsi que de techniciens en génie électrique, électronique et avionique. Certaines entreprises reconnaissent par ailleurs qu'elles éprouvent de la difficulté à recruter des ingénieurs en aérospatiale et des employés en TI.

On dispose de moins de données sur les pénuries de main-d'œuvre à Toronto, mais un rapport récent du CCAA (CCAA, 2020)<sup>18</sup> met en

lumière les professions qui sont considérées comme les plus pertinentes en Ontario. Cette étude indique que les entreprises estiment que toutes les catégories de travailleurs mentionnées ci-dessus, celles du personnel en technologies de fabrication aérospatiale et des opérateurs CNC en particulier, sont pertinentes ou très pertinentes pour leurs activités.

Plusieurs rapports indiquent que la demande des entreprises en main-d'œuvre a largement dépassé l'offre, dans l'industrie aérospatiale canadienne (CCAA, 2018). La pandémie de COVID-19 va vraisemblablement continuer à avoir des répercussions sur la croissance projetée; mais même avant 2020, les entreprises avaient fait état de pénuries de main-d'œuvre dans plusieurs professions. Bon nombre d'entre elles concernaient le personnel dans les métiers, traditionnellement accessibles par une formation professionnelle (FP), tandis que d'autres étaient des professions techniques ou scientifiques que ce soit dans des domaines traditionnels ou émergents (p. ex., professions en TI et axées sur les données). Les professions plus traditionnelles comprennent les machinistes sur matériel à CNC, les assembleurs, les technologues, les techniciens en essais non destructifs, les métiers qualifiés et les ingénieurs ayant diverses spécialisations. Ce thème était récurrent dans l'ensemble

17 Pour la ventilation de ces données, consulter le tableau 5 de l'annexe D.

18 Nous remercions le CCAA de nous avoir permis d'utiliser les données de son rapport, qui n'a pas encore été publié.



*Les entreprises continuent de **faire état de pénuries dans des professions** comme celles d'analyste de systèmes d'information, de consultant en systèmes d'information, de technicien de réseau informatique, de programmeur informatique, d'ingénieur et de concepteur de logiciels.*

des entrevues réalisées, à Montréal comme à Toronto. Un gestionnaire de PME de Toronto a décrit le problème en ces termes :

*[Il] est très difficile de recruter [du personnel]. Surtout pour les postes d'usinage, nous avons les mêmes problèmes que la plupart des autres constructeurs. Quand on assiste à une conférence de l'industrie, ce problème est « au tout premier plan »*

— GESTIONNAIRE, PME, TORONTO

**Ce problème ne se limite pas aux PME. Les grandes entreprises éprouvent également de la difficulté à recruter des machinistes et cette pénurie semble favoriser les investissements dans les nouvelles technologies :**

*Il est difficile de trouver de bons machinistes... Il y a toujours des années où nous avons de la difficulté à trouver des personnes qui ont cet ensemble de compétences. Et c'est peut-être en partie ce qui nous pousse à aller vers des solutions plus axées sur l'automatisation.*

— GESTIONNAIRE, GRANDE ENTREPRISE, TORONTO

Les nouvelles professions se rapportent à la spécialisation dans les données, y compris les analystes et les spécialistes de données. Les entreprises continuent de faire état de pénuries dans des professions comme celles d'analyste de systèmes d'information, de consultant en systèmes d'information, de technicien de réseau informatique, de programmeur informatique, d'ingénieur et de concepteur de logiciels (CCAA, 2018). Un gestionnaire de PME de Montréal décrit le problème ainsi :

*Parfois, nous devons trouver de nouvelles façons d'obtenir les données. Il nous faut des architectes des données... et je dirais d'emblée que ce sont là des ressources très, très, très rares...*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

En plus des pénuries dans certaines catégories d'emploi, les sondages dans l'industrie signalent un écart (ou un « mauvais arrimage des compétences ») entre les compétences que possèdent les diplômés et les compétences recherchées par les entreprises, causé par « l'évolution rapide des technologies » (CCAA, 2018). Un gestionnaire de production décrit le problème ainsi :

*Nous éprouvons une réelle difficulté à trouver des gens qui ont les compétences transversales requises. À la fois en TI et en génie manufacturier... ils sont doués pour les technologies et ont suivi une formation en génie manufacturier. Donc, par coïncidence, ils possèdent les deux types de compétences et sont en mesure de s'adapter. Mais il ne s'agit pas de quelque chose qui s'enseigne... On ne peut se présenter à un établissement de formation et dire : « J'ai besoin d'une personne qui a ces deux compétences » ... C'est difficile pour nous de combler ces postes.*

— GESTIONNAIRE, GRANDE ENTREPRISE, TORONTO

Ce qui se dégage de ces données, c'est la stabilité relative de la structure d'emploi dans l'industrie aérospatiale. Cela pourrait s'expliquer par le fait que, comme nous l'avons vu dans la section précédente, le déploiement de l'I4.0 se fait en pratique à une cadence plus lente que celle anticipée (Stanford, 2020). Cela pourrait aussi être lié au fait que les impacts de l'I4.0 ne se feront pleinement sentir que lorsque des vagues d'innovations complémentaires seront mises en œuvre (Brynjolfsson et al., 2019).

Ce qui devient clair, c'est qu'il importe de consolider les professions traditionnelles et émergentes, de manière à positionner l'industrie aérospatiale canadienne face aux défis du 21<sup>e</sup> siècle. Les compétences traditionnelles, comme celles du machiniste, demeurent importantes et l'industrie a besoin d'un bassin plus important de nouveaux travailleurs pour remédier aux pénuries. Par ailleurs, on assiste à l'émergence de nouvelles professions liées à la gestion des données, ainsi que de professions hybrides à la confluence des TI et des procédés de fabrication; elles font partie intégrante des perspectives d'avenir des entreprises canadiennes.

## La transformation de l'organisation du travail

Dans l'industrie aérospatiale, il y a eu d'importants changements dans les manières dont le travail est organisé, mais aussi une grande continuité dans les processus de fabrication. Dans la plupart des usines, on retrouve encore des « agents de méthodes » qui préparent le travail, des « machinistes et des opérateurs » qui exécutent le travail, des « inspecteurs » qui examinent le travail effectué, et ainsi de suite. Ces travailleurs accomplissent différentes tâches qui font appel à des métiers, à des connaissances et à de la formation variés.

Le déploiement de l'I4.0 et l'intégration de nouvelles technologies s'accompagnent de processus de division, de recombinaison et d'hybridation des tâches, autant au sein d'une profession qu'à travers un éventail de professions. Ainsi, dans plusieurs entreprises la fonction d'inspection a été automatisée en partie :

*C'est essentiellement un bras robotique qui va faire l'inspection des pièces. Donc, plutôt que de demander à un humain d'inspecter quelque chose, le robot est équipé de toutes sortes de caméras et de capteurs qui lui permettent de faire cette inspection. C'est sûr, ils ne peuvent pas encore faire l'inspection aussi bien qu'un humain. Mais ça s'en vient.*

— DÉLÉGUÉ D'ATELIER, GRANDE ENTREPRISE, MONTRÉAL

L'intégration de la robotique et des technologies d'automatisation peut également éliminer les tâches répétitives, comme le rivetage et d'autres travaux difficiles et exigeants sur le plan physique. Par exemple, un mécanicien peut assembler une série de « modules robotiques » pour avoir accès à l'intérieur d'une cellule tout en demeurant à l'extérieur de la structure, ce qui permet de réduire la fatigue et de prévenir les risques de blessures :

*C'est un robot qu'on peut reconfigurer... c'est un humain hybride avec l'automatisation, et ils ne s'épuisent pas. Parce qu'ils travaillent depuis l'extérieur, ils peuvent jouer toute la journée avec ce truc. Et à vrai dire, ça peut devenir très amusant.*

— GESTIONNAIRE, GRANDE ENTREPRISE, TORONTO

L'usinage à porte fermée (« *closed door machining* ») et l'automatisation ont par ailleurs permis d'accroître les cycles de production, de réduire le nombre de configurations et d'augmenter le nombre de machines que



peut faire fonctionner un travailleur. Ces changements ont eu un impact considérable sur la configuration des tâches et la discrétion des travailleurs, soit deux dimensions importantes de l'organisation du travail (Bélanger et al., 2002).

Une autre dimension du travail affectée par l'I4.0 est la surveillance et le rôle de la supervision. Traditionnellement, les superviseurs de première ligne étaient souvent d'anciens machinistes chevronnés qui devaient avoir une compréhension approfondie de tout le processus d'usinage. Dans l'I4.0, on observe que les exigences du rôle des superviseurs évoluent, passant d'une connaissance approfondie des processus d'usinage et de fabrication à l'extraction et l'analyse de données. Les superviseurs doivent maintenant comprendre et utiliser efficacement les statistiques, comme l'attestent les commentaires d'un gestionnaire de production :

*Il faut être en mesure d'extraire les données, savoir comment demander aux gens d'extraire les données exigées, puis les analyser. Et l'analyse est une compétence en soi, il est parfois difficile de l'enseigner. C'est donc, à ce chapitre que les difficultés résideront.*

— GESTIONNAIRE, GRANDE ENTREPRISE, TORONTO

Dans leurs récits, tant les gestionnaires que les représentants des travailleurs reconnaissent que les superviseurs disposent de divers outils technologiques (p. ex., ordinateurs portables, tablettes ou téléphones) qui leur permettent de surveiller la production en temps réel et à distance. Les travailleurs savent que presque tout est contrôlé numériquement et interconnecté, et que le niveau de gestion ainsi que de collecte de données a augmenté. Le commentaire suivant d'un représentant des

travailleurs illustre les changements survenus dans la façon dont on recueille et analyse les données :

*Ça pose un défi à tout le monde, car les gens peuvent maintenant surveiller tout le temps que ça nous prend pour accomplir une tâche précise; alors qu'auparavant, nous avions l'habitude de prendre le temps qu'il fallait. Ils le notaient sur un papier – et ils demandaient probablement à quelqu'un, dans un bureau quelque part, de compiler manuellement toute cette information. Maintenant tout se fait par ordinateur; c'est donc beaucoup plus facile pour eux d'exercer de la pression [sur les travailleurs] ... pour qu'ils travaillent plus vite, pour que le boulot soit fait plus rapidement.*

— DÉLÉGUÉ D'ATELIER, GRANDE ENTREPRISE, MONTRÉAL

Dans un tel contexte, le rôle du superviseur est de s'assurer que les recommandations générées par le système sont mises en œuvre. Ce « superviseur numérique » dicte les processus, le temps nécessaire à leur exécution et les étapes à suivre; son rôle est de s'assurer que les travailleurs de l'atelier respectent ces attentes. Certains dirigeants envisagent même que la fonction de superviseurs humains puisse devenir superflue :

*Parce qu'il faut contrôler les humains et qu'il faut également contrôler les processus. Faire ça... c'est tout un travail. L'idée, c'est d'éliminer [l'humain]; nous voulons mettre en place un superviseur numérique... Lorsque je sais qu'un « setup » prend 15 minutes, eh bien j'aurais besoin que Georges soit à la machine dès 8 h, pour qu'il prépare son plan de match. [Mais] la machine, elle, dispose [déjà] du plan de match. Tout est synchronisé numériquement.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

En vertu de cette nouvelle forme d'organisation du travail, les superviseurs exercent leurs fonctions au moyen de données et de chiffres. Cependant, une des difficultés majeures qui se dessine (surtout lorsque les superviseurs recrutés n'ont jamais été travailleurs d'atelier) tient à leur manque de connaissance approfondie des processus d'usinage et à leur incapacité à résoudre les problèmes complexes; la prise de décision devient alors plus centralisée (p. ex., dans les départements d'ingénierie).

Les machinistes signalent qu'ils sont de plus en plus frustrés d'avoir reçu des directives inefficaces de la part du département d'ingénierie et indiquent que les superviseurs n'avaient pas toujours la capacité d'intervenir ou de trouver des solutions de rechange. Les travailleurs soutiennent que les superviseurs « tiennent plus compte de l'information que contiennent leurs tablettes que ce que peut leur communiquer un employé d'atelier chevronné et qui compte une vingtaine d'années d'expérience dans l'industrie » (Entrevue avec un délégué d'atelier, grande entreprise, Montréal). Les gestionnaires de Montréal et de Toronto reconnaissent qu'il est difficile pour les entreprises de trouver ou de former des superviseurs qui possèdent à la fois des connaissances en matière de fabrication et une expertise en analyse de données.

Grâce à ces nouveaux outils technologiques, il est possible de surveiller, mesurer et comparer le rendement des employés de manière plus intensive. Le « temps de travail » reste une préoccupation fondamentale des superviseurs. Cependant, grâce à ces nouveaux outils technologiques de surveillance, le « temps perdu » a été écourté et les cycles de travail resserrés, ce qui a réduit les occasions pour les travailleurs de résoudre des imprévus. Les contraintes de temps peuvent ensuite se traduire par des comportements non désirés :

*Compte tenu de la fenêtre de temps qu'on a, il n'y a pas de temps pour la réparation. Il y a de la pression pour faire les choses correctement, rapidement, et sans erreur. Si tu fais une erreur, tu essaies de trouver un peu de temps pour faire la réparation, mais tu n'as pas de temps pour ça. Ça empiète sur ton temps de production, et donc tu essaies de ne pas faire d'erreur, et ça entraîne de la dissimulation. Il y a parfois des travailleurs qui veulent camoufler les erreurs, parce qu'ils craignent de ne pas pouvoir respecter leur temps de production.*

— DÉLÉGUÉ D'ATELIER, GRANDE ENTREPRISE, MONTRÉAL

La gestion de données accroît les contraintes de temps tout en augmentant les possibilités d'uniformiser le rendement au travail. Le gestionnaire d'une PME explique comment la gestion des données a aidé son entreprise à concevoir des descriptions de tâches qui laissent peu de place aux écarts :

*Donc, on bâtti tout le référentiel pour être capable d'aller chercher la donnée et faire le lien avec toutes les données dans l'ensemble de notre système. Donc, l'employé est guidé vers ça... [et c'est] vraiment un modèle unique de travail.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

Ce processus de surveillance des travailleurs et d'uniformisation du travail s'accompagne souvent d'une diminution de l'autonomie du travailleur. Les gestionnaires et les représentants des travailleurs reconnaissent que les travailleurs ont moins de contrôle sur leur travail, que ce soit individuellement ou collectivement. Cette citation d'un machiniste est très représentative d'une tendance plus générale de l'incidence de l'I4.0 :

*[Comme machiniste], tu ne peux plus prendre autant de décisions qu'avant... on t'en empêche. Les décisions doivent venir du superviseur ou du service d'ingénierie.*

– DÉLÉGUÉ D'ATELIER, GRANDE ENTREPRISE, MONTRÉAL

Cette diminution du contrôle des travailleurs sur leur travail est reconnue à la fois par les gestionnaires et par les délégués d'atelier, mais son impact est évalué différemment. Pour certains gestionnaires, il s'agit de la seule façon d'améliorer l'efficacité du processus, parce que la prise de décision humaine est perçue comme inefficace :

*Tout ce que tu peux enlever comme décision à l'humain, il faut que tu l'enlèves... On demande [encore] à l'humain de prendre des décisions [mais] l'humain n'est pas doué dans la prise de décisions*

– GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

En revanche, les délégués d'atelier soutiennent qu'ils n'ont pas suffisamment voix au chapitre et d'influence sur la mise en œuvre de changements technologiques, et ce tant au niveau individuel que collectif. Cette situation porte atteinte à la logique du procédé de fabrication et aboutit à des décisions qui ne sont pas adaptées à la réalité de l'atelier. Ces évaluations contrastées des gestionnaires et des délégués mettent en évidence les sources de conflit et les dynamiques de pouvoir dans l'atelier autour du rôle des uns et des autres dans la prise de décision :

*La grosse erreur qu'ils font, dans la mise en œuvre de changements technologiques, c'est que la plupart ne consultent pas les travailleurs de l'atelier. Ils font des erreurs parce qu'ils proposent des choses qui ne fonctionnent pas. Quand il faut mettre en pratique, ils arrivent dans l'atelier, et les travailleurs réagissent : « Qu'est-ce que vous*



Ce processus de **surveillance des travailleurs et d'uniformisation du travail** s'accompagne souvent d'une diminution de l'autonomie du travailleur. Les gestionnaires et les représentants des travailleurs **reconnaissent que les travailleurs ont moins de contrôle sur leur travail**, que ce soit individuellement ou collectivement.

*avez fait là? Ce n'est pas bon pour nous. » Puis ils s'entêtent à essayer de faire en sorte que ça fonctionne, parce qu'ils ont des statistiques.*

– DÉLÉGUÉ D'ATELIER, PME, MONTRÉAL.

Le portrait qui se dégage de ces récits est qu'en contexte d'I4.0, le travail est soumis à diverses réorganisations et restructurations. Bien que la mise en œuvre de l'I4.0 n'affecte pas tous les travailleurs et ne les affecte pas tous de la même manière, on remarque plusieurs tendances générales : 1) une sophistication croissante des appareils de surveillance, 2) une augmentation de la standardisation du travail et 3) une diminution du contrôle collectif et individuel des travailleurs sur leur travail. Historiquement, il s'était développé au sein de l'industrie une forme très différente d'organisation du travail, qui s'appuyait sur des connaissances et des compétences tacites. En revanche, l'I4.0 s'appuie sur des processus de standardisation et la codification des connaissances et des compétences tacites. Ainsi, la mise en place de systèmes informatiques pour capturer les données et surveiller les activités de travail entraîne un changement important des mécanismes de contrôle.



Dans l'I4.0, tant pour les gestionnaires que pour les travailleurs, les processus de standardisation créent une forme de « gouvernance par les nombres », où les règles proviennent d'une source impersonnelle, qui est autosuffisante et fonctionne sans intervention humaine. Toutefois, les mécanismes de contrôle qui sous-tendent la gouvernance par les nombres ne sont pas sans faille et nécessitent une intervention humaine pour assurer leur bon fonctionnement. L'I4.0 n'advient pas non plus partout de la même façon ni au même rythme, de sorte que ses effets sur le travail et le profil des compétences de la main-d'œuvre varient. Comme on le verra dans la section suivante, la question de savoir comment fusionner l'ancien système d'organisation du travail avec l'I4.0 est un défi assez largement répandu et partagé dans l'industrie. Il s'agit d'un aspect extrêmement important, puisque les choix que font les entreprises dans leur transition vers l'I4.0 influenceront directement les compétences futures de la main-d'œuvre.

## L'évolution des compétences

À ce stade, il est difficile d'évaluer avec certitude si l'I4.0 aura pour effet d'enrichir, d'élargir ou de dégrader le travail, et si elle entraînera un perfectionnement des compétences ou leur érosion.

Bien que l'on puisse s'attendre à ce que l'I4.0 ait une incidence sur la plupart des professions, cette section se concentre sur celle de machiniste, un métier qui occupe une place centrale dans les formes dominantes d'organisation du travail au sein de l'industrie aérospatiale. Nous examinerons comment l'I4.0 façonne les processus de division, de recomposition et d'hybridation des tâches du machiniste, tout en explorant également la façon dont ces processus affectent d'autres professions (p. ex., les opérateurs et les analystes de données). Traditionnellement, les machinistes sont considérés comme des « artisans » dotés des compétences requises pour préparer le travail, effectuer des réglages, modifier la programmation des machines et résoudre les problèmes de chaque machine à mesure qu'ils surviennent. Un machiniste décrit son travail comme suit :

*Avant d'appuyer sur le bouton, il faut que tout soit à la bonne place, que tout soit beau. C'est ça qu'on appelle un machiniste. Tu ne pourras jamais l'enlever, à moins que ce soit un robot qui le remplace, mais là encore, je doute que cela ne se produise dans un avenir très proche.*

— DÉLÉGUÉ D'ATELIER, GRANDE ENTREPRISE, MONTRÉAL



Dans certains lieux de travail, les machinistes bénéficient d'une grande marge de manœuvre pour organiser leur journée de travail :

*Si je fais un travail et que je sais que j'ai cinq morceaux... c'est à peu près le même travail, mais qui n'est pas présenté dans le même manuel, vous comprenez? [Les renseignements] sont fournis dans différents manuels. Donc, si je prends ces trois manuels, je peux planifier ma journée et me dire : « OK, je vais faire toutes ces tâches en même temps, même si elles ne sont pas dans le même manuel. » Alors ça ira plus vite.*

— DÉLÉGUÉ D'ATELIER, GRANDE ENTREPRISE, MONTRÉAL

Le passage à l'I4.0 peut donner lieu à plusieurs tendances qui affectent le travail des machinistes et les compétences requises : l'enrichissement du travail, qui se caractérise par l'ajout de tâches plus complexes se traduit par un perfectionnement des compétences; l'élargissement du travail, qui implique l'ajout de tâches de complexité semblable a peu d'effet sur les compétences; ou la dégradation qui implique le retrait de tâches complexes et une forme de déqualification.

Ce processus de division et de réintégration des tâches peut suivre différentes trajectoires et prendre des formes variées. Néanmoins, la plupart des entreprises se situent quelque part entre deux grands scénarios qui peuvent être représentés et visualisés à chaque extrémité d'un spectre. Dans le premier scénario, le travail des machinistes est enrichi par des tâches plus variées et plus complexes, conférant plus d'autonomie pour contrôler le rythme et la séquence du travail. Ces machinistes sont ceux que nous qualifions de « super machinistes ». Dans le second scénario, les tâches précédemment accomplies par le machiniste traditionnel, telles que la programmation et les

ajustements, sont transférées au personnel des TI ou aux analystes de données, dont le travail s'en trouve *enrichi*. Dans ces deux scénarios, les super machinistes, le personnel des TI ou encore les analystes de données voient leur travail *enrichi*, tandis que la majorité des autres machinistes et opérateurs voient plutôt leur travail *élargit* par l'augmentation des tâches de complexité semblable, ou se *dégrader* par la réduction de l'entendue et de la complexité des tâches. La figure 11 présente un diagramme des trajectoires de ces deux scénarios.

## LE SUPER MACHINISTE

Les virages technologiques précédents ont eu pour effet d'éloigner le machiniste d'un profil d'artisan qui fabrique chaque pièce manuellement vers un profil où il maîtrise la technologie et réalise des tâches plus complexes. Un gestionnaire a décrit ces travailleurs comme des « machinistes qui réfléchissent » :

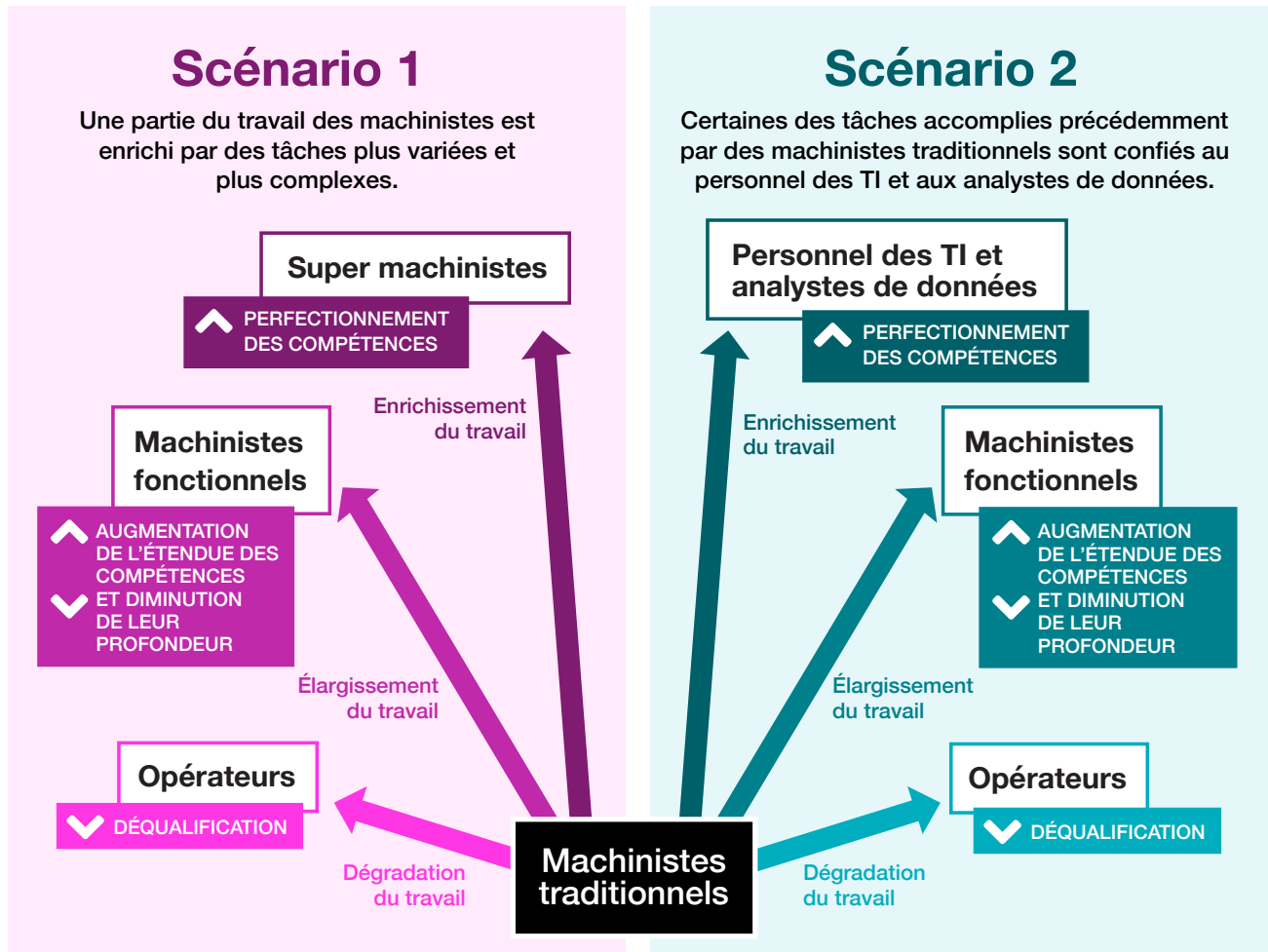
*Il y a une forte demande en machinistes généralistes qui ont le certificat Sceau rouge, donc qui ont suivi le programme d'apprentissage et sont des machinistes certifiés... en particulier dans notre domaine, nous sommes très versés en informatique... Nous recherchons des personnes qui peuvent effectuer des ajustements et des réglages complets, qui peuvent faire des petites modifications de programmation [et] qui peuvent prendre leur machine et se l'approprier, en tenant compte des tolérances qu'il nous faut.*

— GESTIONNAIRE DES RH, GRANDE ENTREPRISE, TORONTO

Le virage vers l'I4.0 peut amener les entreprises à procéder à l'enrichissement de certains emplois ce qui peut conduire à l'apparition de « super machinistes » qui deviennent des

**FIGURE 11**

**La transformation du travail de machiniste traditionnel**



Source : Création des auteurs

experts en nouvelle technologie. Dans ce cas, le machiniste est chargé de concevoir, de modifier ou d'écrire des codes complexes pour l'usinage automatisé de pièces, et pour des cycles de production plus longs. Dans d'autres cas, les entreprises forment leurs super machinistes en tant que programmeurs, plutôt que de recruter du personnel de l'extérieur qui aurait peu d'expérience en atelier.

Dans certaines entreprises, les super machinistes deviennent des « chefs de cellule » responsables de petites équipes et de l'ensemble des ajustements et réglages des machines. Ces chefs de cellule se connectent à

l'usine virtuelle afin de déterminer les tâches sur lesquelles leurs équipes doivent travailler. Les machinistes sous la responsabilité des chefs de cellule utilisent le système pour visualiser le processus de production :

*Un « chef de cellule » préparera sa section pour la journée... selon l'information dont les gars ont besoin, ils peuvent se connecter et voir quels outillages sont nécessaires... Vous pouvez donc vous connecter et savoir à quoi ça ressemble, vous pouvez consulter le numéro de pièce et regarder le dessin de la pièce. Nous avons donc utilisé ce type de technologie pour tenter de nous orienter*

*davantage vers de l'explication visuelle. Ça nous aide non seulement à combler d'éventuelles lacunes de compétences, mais également à combler des lacunes linguistiques.*

— GESTIONNAIRE, PME, TORONTO

Cette évolution vers de nouvelles compétences numériques pose des défis aux entreprises par rapport à la façon d'améliorer les compétences des machinistes. Il peut être ardu pour les entreprises d'enseigner l'analyse et l'utilisation des données à leurs machinistes, car cela demande davantage de formation et de développement à l'interne. Cela a toutefois l'avantage d'accroître les capacités de résolution de problèmes des travailleurs et de former des chefs de cellule qui inspirent le respect en raison de leur expérience du travail en atelier. Dans l'ensemble, ces changements constituent clairement une forme d'enrichissement des tâches et de perfectionnement des compétences des machinistes. Toutefois, dans les grappes de Montréal et de Toronto, le perfectionnement des compétences se limite à une minorité de machinistes.

## **LES PROFESSIONS DES TI ET D'ANALYSTE DE DONNÉES**

Les professions techniques et scientifiques, telles que celles de technicien, de programmeur, d'agent de méthodes et d'ingénieur, font également l'objet de transformations.

L'importance de ces employés dans l'atelier s'est considérablement accrue ces dernières années. On note deux tendances dominantes pour ces professions soit l'élargissement et l'enrichissement du travail :

*L'ensemble des compétences est beaucoup plus élevé. N'avoir aucun diplôme, ou n'avoir fait que son secondaire, ça ne suffit plus. Il faut avoir reçu une forme d'enseignement supérieur. Et il y a*

*beaucoup d'ingénieurs. Si avant, dans l'atelier, le niveau de formation était plutôt de type « école technique », maintenant, c'est de niveau ingénieur, en atelier. Donc c'est un net changement.*

— GESTIONNAIRE, GRANDE ENTREPRISE, TORONTO

Certaines de ces transformations sont directement liées à l'adoption des nouvelles technologies (p. ex., les robots, l'automatisation, les capteurs, les PGI). Les ingénieurs, techniciens et agents de méthodes sont considérés comme les spécialistes et chefs de file de ces changements technologiques. Le personnel technique est souvent considéré comme responsable de la conception et de la mise en œuvre de nouvelles technologies : on s'attend non seulement à ce qu'ils planifient la mise en œuvre de ces technologies, mais également à ce qu'ils forment et accompagnent le reste du personnel.

L'I4.0 pousse les entreprises à embaucher du personnel avec des profils reliés au numérique, tels qu'analyste ou architecte de données, expert en science des données, analyste de systèmes informatiques, technicien de réseau informatique, programmeur ou ingénieur et concepteur en logiciels. Entre autres, la demande à l'égard de cette main-d'œuvre découle de la numérisation du processus de fabrication, qui nécessite l'extraction, l'analyse et l'exploitation de données :

*Lorsque les entreprises se lancent dans plein de petits projets d'Internet des objets, je pense qu'elles oublient souvent de répondre à la question suivante : l'infrastructure numérique est-elle capable de les supporter? C'est-à-dire, le serveur [et] la façon dont il gère la sécurité des données, leur sauvegarde... ça s'accumule. Ta science des données devient extrêmement importante. Tu as des millions et des millions de données qui*



**Le personnel technique est souvent considéré comme responsable de la conception et de la mise en œuvre de nouvelles technologies** : on s'attend non seulement à ce qu'ils planifient la mise en œuvre de ces technologies, mais également à ce qu'ils forment et accompagnent le reste du personnel.

*parfois ne sont pas structurées comme ça... [Donc nous avons embauché] beaucoup d'analystes-programmeurs.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

Certaines entreprises ont cloisonné ces nouvelles professions parallèlement aux professions techniques plus traditionnelles. En agissant ainsi, les programmeurs et le personnel technique ont davantage de contrôle sur le processus de production, tandis que le travail du machiniste traditionnel se trouve déqualifié :

*Vous avez besoin de moins de gens avec une qualification. Le terme « moyen » n'est pas adapté, mais on peut peut-être dire « métiers un peu moins spécialisés », comme les machinistes. Toutes les personnes qui avaient beaucoup de savoir-faire dans l'usine et qui appliquaient leurs connaissances... il semblerait que ces connaissances se déplacent maintenant davantage vers la couche de programmation, d'ingénierie et de la TI. [Vous choisissez] votre pièce, vous la concevez et vous pouvez ensuite la fabriquer pratiquement virtuellement.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

Un des problèmes avec cette division du travail est que les programmeurs et les autres techniciens ne disposent pas toujours des connaissances approfondies relatives à l'usinage, ce qui peut les empêcher de résoudre efficacement les problèmes. La centralisation des décisions au niveau du personnel technique peut entraîner de la frustration chez les machinistes et les opérateurs, surtout lorsque les décisions prises par le personnel technique ne permettent pas de résoudre les problèmes rencontrés dans l'atelier.

*Souvent, dans les entreprises I4.0, il n'y a presque pas de machinistes, et la personne responsable de la programmation ne sait même pas comment fabriquer de pièces. Elle ne connaît même pas la matière première utilisée. Elle ne fait qu'additionner des chiffres. C'est ça qui est train de changer... Les machinistes sont des artistes, des artisans... [Les analystes des TI], c'est un autre caractère. Ils veulent avoir l'esprit libre.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

Certaines entreprises, plutôt que de centraliser la prise de décision au niveau du personnel technique, adoptent une forme d'organisation du travail alternative qui repose sur « l'hybridation » des compétences. Il s'agit de « compétences croisées » entre les domaines de la fabrication, de l'ingénierie et des TI. Ces compétences en fabrication traditionnelle et en informatique sont parfois regroupées sous le terme de « mécatronique », un amalgame de compétences en mécanique, électronique et informatique.

Une autre stratégie, adoptée par certaines entreprises, s'appuie sur un système « d'apprentissage par jumelage ». Ces entreprises recrutent de nouveaux ingénieurs sans expérience et vont les jumeler à un ingénieur en fabrication qui connaît extrêmement bien le processus de production.





Grâce à cet appariement, les nouveaux ingénieurs peuvent concevoir des processus et des produits pour l'entreprise de manière plus efficace :

*Nous avons embauché beaucoup de personnes, probablement au moins 50 dans les deux dernières années avec des spécialisations en données. Elles ne savent pas quels sont [les produits de l'entreprise]. Elles ne savent pas comment [les] concevoir. Ce qu'elles savent, c'est comment interpréter les données, comment examiner les données [de l'entreprise] sur le terrain. [Et] comment analyser les données des clients et les tendances... [déterminer comment] développer des fonctionnalités que vous pouvez vendre aux clients et aux opérateurs.*

— GESTIONNAIRE, GRANDE ENTREPRISE, TORONTO

Le personnel technique et scientifique a pris de l'importance, en particulier les employés qui détiennent des compétences liées au numérique. Ces compétences vont de la mise en place de l'infrastructure (p. ex., les systèmes infonuagiques), à la programmation et au développement de logiciels, notamment la capture de données et leur analyse, et les compétences liées à l'utilisation de logiciels d'ingénierie.

Un des enjeux majeurs est lié aux modèles de relations dans les ateliers. Dans les entreprises, lorsque le personnel technique travaille en silo et qu'en même temps le travail des machinistes est à la fois élargit et déqualifié, des tensions peuvent apparaître dans l'atelier. Les travailleurs hésitent à partager leurs connaissances tacites et leur savoir-faire afin de préserver une certaine forme d'autonomie et de contrôle sur leur travail, tandis que le personnel technique cherche à imposer son expertise. De telles tensions ne sont pas inhabituelles dans le monde du travail, mais la forme qu'elles prennent dans les entreprises aéronautiques a évolué avec la venue de l'I4.0.

### **LE MACHINISTE FONCTIONNEL ET LES OPÉRATEURS**

Ce qui devient évident dans le passage à l'I4.0, c'est le processus de déqualification des machinistes. L'essor de l'usinage à porte fermée et de l'automatisation se traduit par une réduction du nombre de réglages et d'ajustements et une augmentation de la durée et de la complexité des programmes d'usinage, réduisant d'autant les exigences techniques liées au travail des machinistes. Ce nouvel environnement de travail a également restreint aussi le nombre d'interventions requises du machiniste :

*Je dirais que les machinistes ont besoin de moins en moins de « compétences techniques ». Ils doivent encore comprendre le processus, mais uniquement pour une mise au point. Auparavant, ils devaient mesurer la pièce. Ils ne le font plus. Les mesures sont effectuées par la machine.*

— GESTIONNAIRE, GRANDE ENTREPRISE, TORONTO

La répartition du travail, d'un côté, entre les machinistes et, de l'autre côté, le personnel des TI ainsi que les analyses de données réduit non seulement l'étendue et la complexité des tâches des machinistes, mais elle supprime également une bonne partie de la discrétion du machiniste quant à l'organisation de son travail. Dans certains milieux de travail, la portée du contrôle exercé par le machiniste a été considérablement réduite, comme le souligne ce gestionnaire :

*Aujourd'hui, ils disent que ce n'est pas à toi de prendre des décisions ou de décider ce qui doit être mesuré. C'est l'équipe qui prend la décision... « Ce que nous voulons de toi, c'est que tu fasses de bons réglages. Ce que nous voulons de toi, c'est que la machine fonctionne. Ce que nous voulons de toi, c'est que tu produises de la qualité. Ce que nous voulons de toi, c'est de nous dire ce qu'il faut améliorer. Ce que nous voulons de toi, c'est de nous dire ce qui se passe, mais... nous ne voulons pas que tu prennes des décisions à ce sujet. Tu n'es pas le meilleur, là-dedans. »*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL.

La dégradation du travail et la déqualification qui en découle impliquent le retrait de tâches complexes, telles que les réglages, la réduction de l'autonomie du machiniste, ainsi qu'une diminution de l'étendue des connaissances et des compétences requises. En revanche, l'élargissement des tâches consiste à augmenter le nombre de machines dont le

machiniste est responsable, tout en exigeant également qu'il ait une bonne compréhension du fonctionnement de l'atelier (p. ex., une cellule flexible). Par exemple, plutôt que de faire fonctionner une seule machine, les machinistes peuvent désormais avoir la charge de quatre à six machines pendant le même quart de travail. Ainsi, l'impact de l'I4.0 sur le travail d'un machiniste fonctionnel se traduit à la fois par un processus de déqualification et d'élargissement des tâches d'usinage.

En comparaison, les rôles d'opérateur nécessitent des niveaux de compétence inférieurs. Un des avantages qu'ont certaines entreprises est qu'elles peuvent recruter des travailleurs sans qualification particulière et les former à l'interne. Ainsi, bien que l'I4.0 permette d'améliorer les compétences de certains travailleurs, elle peut impliquer une déqualification pour la majorité d'entre eux. À la suite de changements technologiques, les entreprises ont remplacé certains machinistes qualifiés par des opérateurs moins qualifiés qui perçoivent une rémunération moins élevée :

*Nous avons besoin des opérateurs, c'est notre problème en ce moment. Nous n'avons pas besoin de personnes qualifiées. Tu as un diplôme d'études secondaires, nous allons te former. Et nous allons accepter des personnes qui n'ont pas terminé leurs études secondaires et nous allons les former.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

Que les entreprises choisissent de recourir à des machinistes fonctionnels, ou plutôt d'embaucher davantage d'opérateurs moins qualifiés, soulève d'importantes questions quant à l'avenir de plusieurs métiers d'atelier et la qualité globale des emplois dans l'aérospatiale. La mise en œuvre de l'I4.0 est susceptible d'entraîner l'intégration de nouvelles compétences (c.-à-d., perfectionnement des compétences) et de conduire à de nouvelles

voies de progression (p. ex., programmeurs et techniciens) pour certains machinistes. Toutefois, il y a des indices attestant que les changements liés à la technologie et à l'organisation du travail dans le cadre de l'I4.0 sont susceptibles de contribuer à une dégradation du travail et à une érosion des exigences en matière de compétences.

Auparavant, les métiers spécialisés tels que celui de machiniste étaient considérés comme des métiers d'artisans : des métiers qui nécessitent de la réflexion et une capacité à résoudre des problèmes et à prendre des décisions complexes. Dans certaines entreprises, les machinistes ont traditionnellement joué un rôle plus important que celui des services d'ingénierie dans la conception de certains procédés de fabrication. Toutefois, les stades plus avancés de l'I4.0 annoncent une centralisation de la prise de décision hors de l'atelier. La façon dont les entreprises choisissent de concevoir l'organisation du travail dans le contexte de ces nouvelles technologies aura des conséquences importantes sur l'avenir de ces métiers et des exigences en matière de compétences.

## Comprendre les tendances du marché du travail, la transformation de l'organisation du travail et l'évolution des compétences

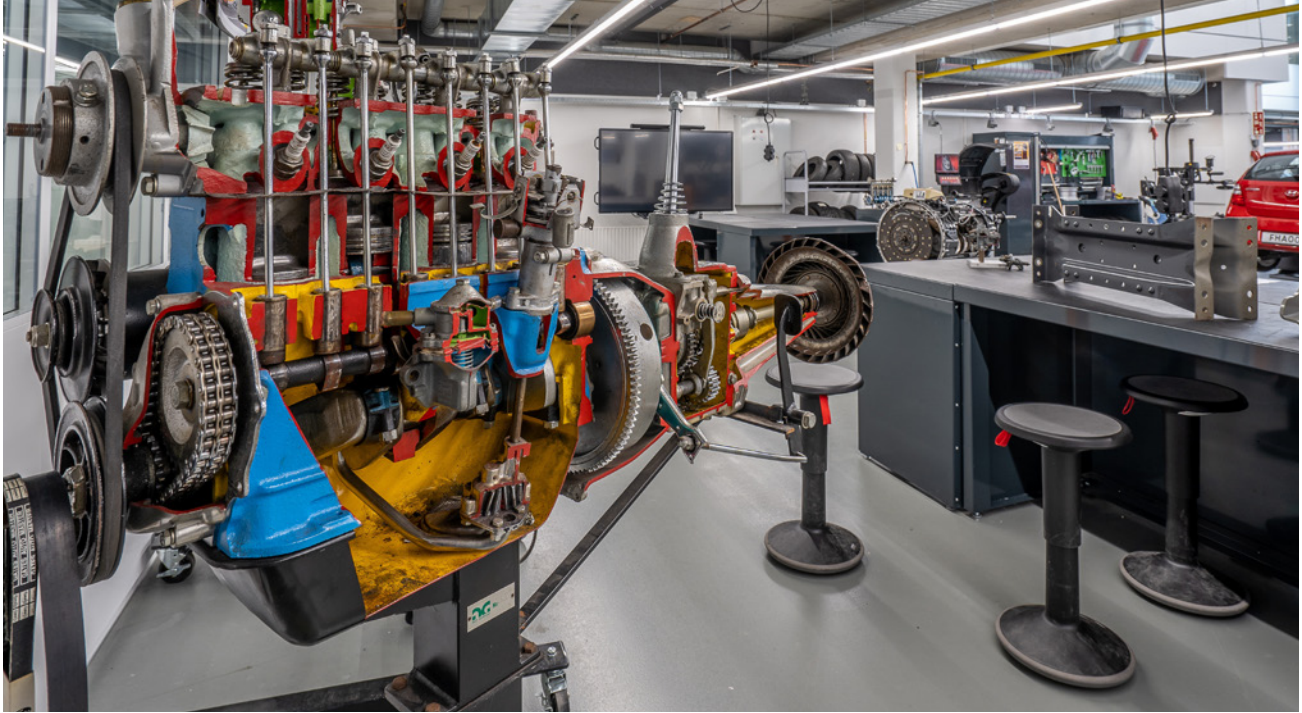
Dans cette section, nous avons cherché à comprendre comment l'I4.0 façonne le monde du travail à partir d'une analyse des liens qui se tissent entre les tendances du marché du travail, la transformation de l'organisation du travail et l'évolution des compétences. Cette analyse montre que l'aérospatiale est une industrie qui nécessite des compétences élevées. Avant la pandémie de COVID-19, la demande en travailleurs surpassait l'offre, créant une pénurie



*La façon dont les **entreprises choisissent de concevoir l'organisation du travail dans le contexte de ces nouvelles technologies** aura des conséquences importantes sur l'avenir de ces métiers et des exigences en matière de compétences.*

de main-d'œuvre notamment dans les métiers traditionnels tels que celui de machiniste, mais également dans des professions émergentes liées à la gestion des données, notamment les professions de programmeur et d'analyste de données.

L'émergence de ces nouvelles professions et l'intégration de la gestion des données ont ouvert de nouvelles possibilités, permettant aux entreprises aérospatiales de surveiller les processus de production en temps réel, de standardiser plus étroitement le travail et de réduire l'autonomie des travailleurs. Dans le contexte de cette nouvelle organisation du travail caractérisée par la division, la recomposition et l'hybridation des tâches, le travail dans certains emplois se trouve enrichi, dans d'autres cas, il est élargi, tandis que dans de nombreux cas il est dégradé. La transition vers l'I4.0 n'est pas simple : elle n'affecte pas tous les travailleurs, et ceux sur qui elle a des répercussions ne sont pas affectés de la même manière. Ce processus inégal semble favoriser la polarisation des emplois, avec une augmentation d'un petit nombre d'emplois hautement qualifiés (p. ex., super machiniste)



et une plus grande proportion d'emplois peu qualifiés (p. ex., opérateurs), et ce, au détriment de métiers aux « qualifications moyennes » comme celui de machiniste fonctionnel.

Les résultats de notre étude soutiennent et permettent de mieux comprendre les conclusions d'un rapport récent de Statistique Canada sur l'adoption de la robotique (Dixon, 2020). Ce rapport démontre que la robotique, tous secteurs confondus, ne semble pas provoquer une baisse de l'emploi, mais entraîne plutôt une polarisation des emplois : une réduction du nombre de travailleurs aux « qualifications moyennes », une augmentation du nombre de travailleurs hautement qualifiés et de ceux qui sont peu qualifiés. Notre étude identifie les formes prises par la polarisation des emplois dans l'industrie aérospatiale canadienne suite à l'adoption de l'I4.0 et comment la gestion algorithmique est susceptible de renforcer davantage ces tendances.

Ces tendances soulèvent également des questions fondamentales quant à l'avenir de l'industrie. D'une part, l'industrie a été confrontée à des pénuries de main-d'œuvre et a eu de la difficulté à recruter de la main-d'œuvre qualifiée, en particulier parmi la nouvelle génération de travailleurs. D'autre part, l'I4.0 crée quelques emplois très attrayants nécessitant des compétences élevées, mais également plusieurs emplois peu qualifiés. L'industrie doit donc faire face à un véritable problème : elle a des difficultés à attirer le talent parce qu'elle propose moins d'emplois attrayants. Ainsi, la capacité de l'industrie à canaliser les talents est compromise. Il s'agit de problèmes complexes qu'une entreprise peut difficilement régler seule car ils nécessitent l'intervention collective de diverses parties prenantes de l'industrie.







# Dynamique des grappes et configurations institutionnelles régionales de Toronto et de Montréal



L'adoption de l'I4.0 constitue un défi pour les entreprises et, dans le contexte de la pandémie de la COVID-19, il est probable qu'il s'accroisse. Les contraintes que subit actuellement l'industrie aérospatiale mondiale exercent une pression excessive sur les institutions régionales, poussant les acteurs à redéfinir les structures de gouvernance de ces institutions, leurs frontières, leurs ressources collectives, voire leurs identités. Cette redéfinition est possible par le biais de processus d'expérimentation, d'adaptation mutuelle et d'apprentissage collectif qui permettent aux acteurs de réévaluer et de réviser à la fois leurs objectifs et les moyens de les atteindre dans (Heidenreich, 2005; Murray et al., 2020).

Au cours du processus d'expérimentation, les acteurs peuvent élaborer des institutions régionales à densité variable<sup>19</sup> (Zukauskaite, Trippel et Plechero, 2017; Amin et Thrift, 1994). Les configurations institutionnelles régionales (CIR) denses reposent sur une variété d'organismes intermédiaires qui soutiennent l'innovation et le transfert de connaissances.

Ces organismes sont bien connectés les uns aux autres, le pouvoir y étant dispersé plutôt que concentré. Les acteurs et les organismes partagent également un agenda commun axé sur la production de ressources collectives. De telles CIR favorisent des processus d'expérimentation à l'échelle de la grappe, basés sur des réseaux ou des actions coordonnées entre les entreprises et les organismes intermédiaires.

En comparaison, les CIR moins denses disposent de peu d'organismes intermédiaires. À ce titre, les interactions entre les entreprises et avec les organismes intermédiaires sont plutôt limitées. Le pouvoir est concentré au sein de quelques firmes et il n'existe pas d'agenda commun liant les différents acteurs et organismes intermédiaires entre eux. De telles CIR impulsent des expérimentations organisationnelles « centrées sur l'entreprise » ou « axées sur le marché ».

<sup>19</sup> Pour mesurer la densité institutionnelle régionale, nous nous appuyons sur les travaux de Zukauskaite, Trippel et Plechero (2017) qui ont identifié quatre dimensions: 1) la présence de divers organismes comme des entreprises, des associations d'employeurs, des syndicats et d'organismes intermédiaires; 2) le degré d'interaction entre ces différents organismes (c.-à-d., l'intensité des interactions formelles et informelles); 3) la dynamique et la structure des relations de pouvoir; et 4) l'existence d'un agenda commun et d'une identité partagée.

Prenant appui sur cette distinction entre les CIR à faible et forte densité, cette section explore les questions suivantes :

- > Dans quelle mesure les acteurs ont-ils accès à un environnement riche en ressources pour expérimenter et faire face aux défis posés par l'I4.0? Quels sont les types de ressources disponibles et sont-elles le résultat de mesures collectives ou individuelles?
- > Ces ressources sont-elles réparties uniformément ou sont-elles accaparées par certains acteurs au profit de leurs propres organisations? Quels types de capacités les acteurs développent-ils pour mobiliser ces ressources?
- > Quels sont les modes dominants de comportements et de relations entre les acteurs? Ces relations reposent-elles sur la compétition ou la collaboration? Sont-elles bilatérales ou multilatérales?
- > Quels sont les processus dominants d'expérimentation? Quel est le rôle des grandes entreprises, des organismes intermédiaires et des acteurs ayant moins de pouvoir, comme les PME et les syndicats, dans ces processus d'expérimentation?

## Configuration institutionnelle régionale de Toronto

### Héritage institutionnel de la CIR de Toronto

La grappe aérospatiale de Toronto se caractérise par une configuration à faible densité institutionnelle qui se structure autour d'un nombre limité d'organismes intermédiaires sectoriels, développés relativement récemment<sup>20</sup>. Il existe un certain nombre d'autres organismes intermédiaires au niveau provincial, notamment un vaste bassin de collèges et d'universités qui fournit une main-d'œuvre hautement qualifiée à l'industrie. Toutefois, comparativement à d'autres industries de haute technologie en Ontario, les relations entre les entreprises, les universités et les collèges n'ont pas été un moteur d'innovation au sein de la grappe aérospatiale (Bramwell et Wolfe, 2008); les entreprises aérospatiales de la région de Toronto bénéficiant très peu des retombées technologiques découlant des activités des organismes intermédiaires (Niosi et Zhegu, 2005). En ce qui concerne le développement des compétences, les gouvernements fédéral et provincial ont tenté à plusieurs reprises d'encourager les parties prenantes à s'impliquer dans le système de formation (Rutherford, 1998 ; 2001), en particulier dans les années 1990, mais ces tentatives n'ont pas réussi à façonner le CIR à long terme<sup>21</sup>.

20 Voir l'annexe C pour obtenir une liste plus détaillée des acteurs de la CIR.

21 Plusieurs de ces tentatives visaient également des syndicats. Par exemple, la Commission canadienne de mise en valeur de la main-d'œuvre (CCMMO), le Conseil ontarien de formation et d'adaptation de la main-d'œuvre (COFAM) et des commissions locales de formation créées en Ontario dans les années 1990.

Les organismes intermédiaires dédiés à l'industrie aérospatiale reçoivent un financement minimal ce qui limite leur capacité à fournir des services et à soutenir les acteurs au sein de la grappe. Conséquemment, les entreprises ont tendance à puiser dans les programmes de financement fédéraux<sup>22</sup> ou provinciaux<sup>23</sup> ou à collaborer avec les organismes intermédiaires (p.ex., services de collèges ou d'universités) à un niveau plus individuel ou 'centré sur l'entreprise', par opposition à des initiatives à l'échelle de la grappe.

Parmi les organismes intermédiaires dédiés à l'industrie, le plus influent est le Conseil ontarien de l'aérospatiale (Ontario Aerospace Council, ou OAC), fondé en 1994. L'OAC a créé en 2012 l'OMLC (Manufacturing Learning Consortium, ou OMLC) et ce dernier offre une série de programmes de formation subventionnés pour les métiers spécialisés (p.ex., machinistes et monteurs). Cependant, ces formations ne sont pas toujours dispensées et disponibles en raison de contraintes budgétaires.

La branche ontarienne du Consortium en aérospatiale pour la recherche et l'innovation au Canada (CARIC) a vu le jour en 2014, et a pour mission de fournir du financement pour des projets d'innovation collaborative. Les

entreprises et les acteurs de la grappe ont aussi recours au Groupement Aéronautique de Recherche et Développement en environnement (GARDN) afin d'accéder à du financement pour réaliser des projets dans le domaine de l'innovation.

Le projet DAIR (Downsview Aerospace Innovation & Research) repose sur la participation de diverses universités, d'un collège et de plusieurs grandes entreprises au développement d'un pôle d'innovation (Emerson, 2012)<sup>24</sup>. Créée en 2013, cette initiative est actuellement dans sa deuxième phase, mais son déploiement a été ralenti par le retrait des activités de production de Bombardier à cet endroit. Par ailleurs, le groupe canadien Women in Aerospace (WIA), créé en 2014 se concentre sur la diversité, l'inclusion et le mentorat des femmes dans l'aérospatiale. Dans le cadre de l'initiative des super grappes du gouvernement fédéral, les entreprises aérospatiales sont également impliquées dans le projet « Fabrication de prochaine génération Canada (NGen) » démarré en 2018 (Innovation, sciences et développement économique Canada, 2020).

Au sein de la grappe, les entreprises ont davantage tendance à développer des relations de nature concurrentielle et préfèrent collaborer avec des acteurs à l'extérieur de la grappe, alors que plusieurs entreprises de renom aient évoqué la nécessité d'une plus grande collaboration (Canada 2020, 2012). Le pouvoir au sein de la grappe est demeuré pendant plusieurs années concentré autour de quelques grandes entreprises, principalement

22 Les programmes fédéraux de financement incluent entre autres l'Initiative stratégique pour l'aérospatiale et la défense (ISAD), le programme d'encouragements fiscaux en recherche scientifique et développement expérimental (RS&DE), ainsi que les voies de financement offertes par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et Mitacs.

23 À l'échelle provinciale, différents types de financement destinés plus largement aux entreprises ontariennes sont disponibles. Ce financement vise à soutenir l'innovation et le développement des compétences (FedDev Ontario, 2015) et est offert par diverses organisations, telles que les Centres d'excellence de l'Ontario (CEO) et l'Agence fédérale de développement économique pour le Sud de l'Ontario (FedDev Ontario).

24 Plus précisément, le Centennial College a inauguré un nouveau campus aérospatial à Downsview Park en 2019 et il s'agit de la première phase du DAIR. Ce projet a été financé par les gouvernements provincial (26 millions de dollars) et fédéral (18,4 millions de dollars) (Innovation, sciences et développement économique Canada, 2016).



des multinationales. Bien qu'il y ait eu plusieurs initiatives visant l'élaboration d'un agenda commun, ainsi qu'une consolidation des activités au sein de la grappe, aucune n'a abouti à ce jour (Galvin, 2019).

Comment alors l'héritage institutionnel de la grappe de Toronto façonne-t-il le développement des compétences et les transferts technologiques, notamment la mise en œuvre de l'I4.0? En fait, la grappe aérospatiale de Toronto a développé au fil des ans un modèle centré sur l'entreprise. Il s'agit d'une CIR dans laquelle le développement des compétences et le transfert des technologies se produisent principalement à une échelle localisée. En conséquence, la coordination à l'échelle de la grappe reste plutôt minimale. Cet héritage institutionnel peut renforcer ou limiter le déploiement de diverses approches, créant de l'ouverture ou de la résistance à certaines formes d'expérimentation.

## Ressources de la grappe et dynamique actuelle

À Toronto, la configuration à faible densité institutionnelle ne favorise pas, à l'échelle de la grappe, des initiatives coordonnées destinées spécifiquement à l'I4.0 et aux compétences futures. Lorsqu'elles existent, les initiatives se situent souvent à l'échelle de l'entreprise quoique, ces dernières années, les organismes intermédiaires ont développé des activités visant à renforcer le réseautage et la collaboration entre les entreprises. L'une des conséquences de cette faible coordination est que les relations entre les entreprises sont surtout axées sur la compétition : la collaboration étant perçue comme nuisible à l'obtention de contrats ou à la répartition des contrats entre les différents fournisseurs potentiels. Les grandes entreprises affichent des comportements protectionnistes, tandis que les PME choisissent de ne pas collaborer,

même au sein de partenariats commerciaux qui permettraient des économies d'échelle :

*Selon ma perception, la [collaboration] en Ontario [est] très faible. Ça ne colle pas; il n'y a pas d'incitation à travailler ensemble... J'imagine que si les grandes entreprises veulent qu'il y ait collaboration, elles pourraient imposer ce type de coopération.*

— GESTIONNAIRE, PME, TORONTO

La collaboration horizontale (p. ex., entre concurrents au niveau de la grappe) est particulièrement difficile à établir, alors que la collaboration verticale peut être plus facilement réalisable au sein de chaînes d'approvisionnement. Cependant, cela nécessiterait que les FEO ou les entreprises de niveau 1 initient et stimulent la collaboration inter-entreprises.

Une conséquence notable du manque de collaboration entre les entreprises est que le débauchage des employés et le sous-investissement dans le développement des compétences sont monnaie courante. Le débauchage est plus fréquent pendant les «phases de montée en puissance», lorsque les grandes entreprises intensifient leurs efforts de recrutement et offrent des salaires plus élevés que les PME. Il touche plus particulièrement des travailleurs expérimentés ou encore ceux possédant des compétences spécialisées ou plus nichées :

*Vers 2013, un certain nombre de compagnies membres de l'OAC communiquaient avec moi et me disaient : « nous avons beaucoup de mal à trouver des machinistes CNC... Ceux qui [ont de l'expérience], ils travaillent pour quelqu'un d'autre; mon confrère d'à-côté est en train de me voler des gars, alors maintenant je dois aller voler ceux de quelqu'un d'autre. »*

— REPRÉSENTANT D'UN ORGANISME INTERMÉDIAIRE, TORONTO

Le débauchage des employés apparaît comme une forme de conflit qui se joue entre les entreprises et il affecte des entreprises de toutes tailles. Il existe peu de moyens de régler ce comportement à l'échelle de la grappe mais l'OMLC a cherché à atténuer ses effets en créant des programmes de formation pour élargir le bassin de main-d'œuvre qualifiée.

Les initiatives déployées par les entreprises, pour accéder à la main-d'œuvre qualifiée et aux ressources nécessaires à l'intégration de nouvelles technologies, ont tendance à être centrées sur l'entreprise. Plusieurs entreprises choisissent de faire appel à des prestataires de services de formation privés (p. ex. en robotique, en codage et en gestion des données), à des consultants (p. ex., pour offrir une expertise sur l'I4.0) ou à des fabricants de technologie et de machinerie (p. ex., Siemens, GE, des fabricants de robotique). Elles ont donc moins recours aux ressources produites à l'échelle de la grappe. D'autres firmes, interagissent et collaborent avec d'autres acteurs ou organismes intermédiaires au sein de la grappe, afin de développer des compétences ou de nouvelles technologies.

Une PME fortement engagée dans l'I4.0 a développé une bonne partie des ressources dont elle avait besoin en acquérant de la formation pour ses programmeurs et super machinistes auprès de ses fournisseurs de logiciels et en utilisant des consultants spécialisés en logiciels de gestion intégrée (PGI) afin d'améliorer le fonctionnement de son usine virtuelle. D'autres entreprises moins avancées dans le processus de transition font également appel à divers groupes-conseils, fabricants de machines et prestataires de services pour obtenir des informations sur la façon de mettre en œuvre l'I4.0. Ces liens entre les entreprises et ces fournisseurs de services

liés à l'I4.0 résultent parfois des activités de réseautage développées par des organismes intermédiaires, comme l'OAC<sup>25</sup> :

*Nous avons eu des discussions avec [nom de fabricants de machines] qui nous appuient et nous donnent de l'information... D'autres ressources sont disponibles grâce à l'OAC. Des [consultants] s'y occupent à temps plein [de la mise en œuvre de l'I4.0]. Nous sommes également appuyés par notre cabinet comptable qui a offert de nous aider à optimiser les données; à examiner les données et ce qu'elles nous disent.*

— GESTIONNAIRE, PME, TORONTO

Quant aux filiales de multinationales, elles peuvent puiser dans leurs propres réseaux et bénéficier de l'expérience des filiales qui sont plus avancées dans le processus de transition vers à l'I4.0 (p. ex., déploiement de tablettes, lignes automatisées et cellules flexibles). Plusieurs filiales de Toronto travaillent également étroitement avec leurs homologues de Montréal pour mettre en œuvre de nouvelles technologies ou pour développer des programmes de formation à l'interne.

25 À titre illustratif, l'OAC s'est associé à un groupe-conseil privé pour que ce dernier diffuse des connaissances en matière d'I4.0. Plusieurs personnes interrogées ont déclaré avoir rencontré des fournisseurs de services à l'occasion d'événements de réseautage de l'OAC. D'autres organismes intermédiaires ont également considéré ce genre de partenariats. Le DAIR a par exemple songé à s'associer à un fabricant spécialiste de l'I4.0 pour créer un espace de démonstration de l'I4.0 à l'aide de machines de ce fabricant.

Lorsque les entreprises s'engagent dans des initiatives liées au développement des compétences et de nouvelles technologies à l'échelle de la grappe, ces initiatives impliquent généralement la collaboration de quelques entreprises et d'au moins un organisme intermédiaire. À terme, elles pourraient permettre de pérenniser les réseaux entre les entreprises et les organismes intermédiaires. Le déploiement de tels réseaux nécessite cependant un engagement soutenu des différents acteurs, notamment des organismes intermédiaires et des grandes entreprises.

## **INITIATIVES AXÉES SUR LE DÉVELOPPEMENT DES COMPÉTENCES**

À l'échelle de la grappe, la CIR façonne la manière dont les grandes entreprises et les PME interagissent entre elles, ainsi qu'avec les organismes intermédiaires. Les grandes entreprises bénéficient d'une flexibilité et d'une agilité considérables dans leur interaction avec les différentes parties prenantes. Elles ont la capacité à accéder aux ressources et à mettre en œuvre des initiatives en matière de développement des compétences à l'échelle de la grappe. Les PME, quant à elles, ont plus de difficultés à accéder à ces ressources et à modeler les initiatives à l'échelle de la grappe. La configuration régionale à faible densité de Toronto implique que les initiatives liées au développement des compétences sont souvent dictées par le marché, dans la mesure où elles s'arriment aux besoins spécifiques des grandes entreprises.

Certaines multinationales collaborent avec des parties prenantes à l'échelle de la grappe afin de répondre à des besoins actuels en matière de compétences (par opposition à des besoins futurs). Cette collaboration repose sur des activités qui vont du développement

de relations directes avec des collègues à des initiatives collaboratives au sein de leur chaîne d'approvisionnement ou, encore, avec des organismes intermédiaires, comme l'OAC. Souvent ces activités conduisent d'ailleurs les grandes entreprises à la « capture » des ressources au sein de la CIR<sup>26</sup>. À titre d'exemple, une multinationale a travaillé avec un collègue, pour déployer un programme d'entrée et de mise à niveau de formation pour les machinistes sous la forme d'un cours de courte durée. Le collègue et cette firme multinationale ont obtenu des subventions gouvernementales pour financer cette formation de base spécifique, qui est maintenant accessibles aux autres entreprises de l'industrie :

*Nous avons quelque chose que l'on appelle « [FEO] Fast Track » qui est un programme intensif d'un semestre destiné uniquement aux personnes (employés du FEO) assignées au travail des métaux et des fixations de base. Et avec les processus [nom du FEO] : nous travaillons avec leurs diagrammes ou dessins, [et] avec leurs processus de chaînes de montage.*

— ADMINISTRATEUR, COLLÈGE, TORONTO

Dans un autre exemple, une entreprise de niveau 1 collabore avec un collègue et une université qui avaient développé un partenariat pour mettre en place trois courts programmes de formation de type « micro-accréditations ». Ces programmes visent à améliorer les

26 Phelps (2008) soutient que les entreprises multinationales, par le biais d'investissements directs étrangers, seraient en mesure « d'exercer une influence disproportionnée » sur les programmes d'enseignement et de formation et seraient en mesure d'orienter les approches locales d'enseignement et de formation vers leurs besoins particuliers (pages 467–468). L'expression « capture institutionnelle » est plus généralement utilisée pour désigner la façon dont les filiales de multinationales peuvent « capturer » ou « obtenir » des ressources à l'échelle régionale afin de répondre à leurs besoins respectifs.

compétences des ouvriers d'atelier et faire d'eux des techniciens de maintenance en robotique.

Les collaborations peuvent également impliquer des organismes intermédiaires et tout particulièrement l'OAC. Plusieurs grandes entreprises communiquent directement avec l'OAC lorsqu'elles sont confrontées à une pénurie de main-d'œuvre. Dans certains cas, cela a abouti à une solution centrée sur une seule entreprise mais, dans d'autres cas, une approche plus collective a été adoptée. Par exemple, une série de programmes intensifs de formation visant les métiers de machiniste CNC et de monteur de structures a été mise au point en Ontario. Or, les grandes entreprises de la grappe ont recruté la majorité des personnes formées ou qui se sont perfectionnées grâce à ces programmes.<sup>27</sup>

La situation dans laquelle se trouvent les PME est très différente. D'une part, les PME ont plus de difficultés à négocier individuellement avec les collèges ou les universités, car leurs ressources internes sont plus limitées et elles peinent à développer un agenda commun et à agir collectivement. D'autre part, les PME sont également dépendantes des initiatives des multinationales qui visent le développement des compétences au sein de leur chaîne d'approvisionnement. Dans l'ensemble, les PME ne sont pas en mesure de « capturer » les institutions ni d'accéder aux ressources de manière analogue aux entreprises multinationales.

27 Une série de programmes de base d'une durée d'environ 6 mois pour les personnes sans expérience a été développée. Ces programmes consistaient en une formation en classe de 4 à 7 semaines et d'un perfectionnement de 2 à 4 semaines, ayant l'équivalence d'une moitié de programme d'apprentissage. Ces programmes ont été déployés par l'intermédiaire de l'OMLC.

Les entreprises grandes et petites participent également à des initiatives formelles de FP offertes par les collèges et universités, notamment en accueillant des stagiaires ou des étudiants dans le cadre de stages coopératifs ou de placements professionnels. Ces initiatives de FP sont souvent financées par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et on observe des variations importantes entre les collèges et les universités en ce qui concerne leur mise en œuvre. Tant les grandes entreprises que les PME considèrent ces programmes comme un moyen de constituer un bassin de main-d'œuvre qualifiée; une occasion de former leurs stagiaires, d'établir une relation avec eux, et souvent, de les recruter. Certaines entreprises ont utilisé des stagiaires pour exécuter des projets liés aux changements de processus. À titre d'exemple, le gestionnaire d'une PME au stade de l'I3.0 a fait appel à des étudiants en stage coopératif pour superviser des projets d'élaboration de « processus intelligents » pour améliorer l'efficacité du processus de production :

*Pour le contrôle de la production, l'étudiant est responsable d'effectuer la mise en course de la machine. Le directeur de la production a remarqué une amélioration telle de l'efficacité qu'il m'a demandé d'en faire un rôle permanent.*

– GESTIONNAIRE, PME, TORONTO

Tous les acteurs et les entreprises considèrent les activités de FP comme étant bénéfiques pour les entreprises et les étudiants. Néanmoins, certaines personnes sont préoccupées du fait qu'un petit nombre d'entreprises utilisent les étudiants comme une main-d'œuvre à bon marché, sans vraiment les former, ou encore, comme un moyen de réduire les coûts, en les formant, sans pour autant les rémunérer.



Les grandes entreprises et les PME participent également à diverses activités de ‘savoirs partagés’ organisées par les collègues et les universités sur le développement des compétences. À titre d’exemple, des gestionnaires peuvent siéger à des comités consultatifs de programmes, fournir de la rétroaction sur le contenu formel des cours ou donner des conférences en tant qu’invités représentant l’industrie. Il faut noter d’ailleurs que dans la foulée de ces activités de ‘savoirs partagés’ plusieurs collègues et universités ont conçu des modules ou des cours s’articulant autour de l’I4.0 ou de la mécatronique. La participation de ces gestionnaires à ces activités contribue à pallier certaines difficultés rencontrées par les établissements d’enseignement, incluant celles associées aux délais dans l’approbation des modifications de programmes d’études.

Des partenariats entre différents collègues et universités représentent une autre voie permettant de surmonter les difficultés auxquelles sont confrontés les établissements d’enseignement. Ces collaborations donnent souvent naissance à des programmes non accrédités axés sur l’industrie (p. ex., le baccalauréat en technologie industrielle développé dans certaines universités ontariennes) ou créent des voies de transition entre des programmes techniques et des programmes de cycles supérieurs en génie. Les collègues et les universités collaborent également avec différents organismes d’accréditation dans l’industrie afin de façonner les initiatives visant les compétences futures. Par exemple, les programmes de mécatronique dans les collèges peuvent offrir une accréditation de l’industrie par l’intermédiaire de Siemens, tandis que d’autres types de certification sont liés à des modules sur la robotique, l’I4.0 et l’automatisation.

## **INITIATIVES AXÉES SUR LES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES**

Les initiatives axées sur les innovations technologiques suivent la même trajectoire que celles axées sur le développement des compétences. La plupart des initiatives sont centrées sur les entreprises. Lorsque des approches plus collaboratives émergent, les organismes intermédiaires du secteur jouent un rôle important en aidant les entreprises à surmonter les relations de concurrence et en synthétisant les informations, par exemple en les aidant à composer avec la complexité des demandes de financement. Toutefois, peu d’initiatives visent directement la mise en œuvre de l’I4.0.

L’une des réussites de la grappe de Toronto – et de l’industrie canadienne à ce jour – a été sa capacité à exploiter des niches technologiques afin de demeurer compétitive, et ce, avec parfois moins de soutien gouvernemental. Au sein de la grappe, l’aviation durable est considérée comme un créneau porteur pour l’aérospatiale canadienne et les acteurs ont souligné l’importance de l’initiative d’aviation verte GARDN :

*En Europe, oui, ils ont Clean Sky, et aux États-Unis, ils ont la NASA. Mais au Canada, je pense que [l’industrie] peut être agile... en raison de la taille de notre pays, le succès canadien repose souvent sur des créneaux... je pense que l’aviation durable serait un créneau formidable pour le Canada.*

– PROFESSEUR, UNIVERSITÉ, TORONTO

Plusieurs FEO et fournisseurs de niveau 1 dans la grappe ont reconnu que les nouvelles technologies, notamment les tablettes, la robotique et d’autres formes d’automatisation des procédés, ont généralement été appliquées aux gammes les plus récentes de leurs

produits (p. ex., des produits d'aviation plus durables). Dès lors, l'adoption de l'I4.0 dépend spécifiquement du type de production effectué au sein de chacune des filiales d'entreprises multinationales.

Au sein de la grappe torontoise, les grandes entreprises bénéficient de ces initiatives en tirant parti de leur pouvoir d'achat auprès des collègues et des universités, ou encore, en finançant des projets de recherche appliquée liés à l'I3.0 ou à l'I4.0. Ces projets peuvent inclure l'installation et l'intégration de la robotique dans des procédés de fabrication existants, la mise en œuvre de systèmes numériques ou de cybersécurité, et le développement dans des domaines tels que la maintenance prédictive. Un exemple notable est un projet d'I4.0 – une série de modules robotisés permettant de « construire soi-même » un robot reconfigurable – entrepris dans le cadre d'une demande de financement à NGen.

Les initiatives collaboratives en innovation impliquent généralement de grandes entreprises et incluent habituellement aussi un organisme intermédiaire. À ce titre, les universités et les collègues sont à l'origine d'un certain nombre d'activités de 'savoirs partagés' portant sur la diffusion des innovations technologiques,<sup>28</sup> tandis que le consortium DAIR se concentre actuellement sur des ateliers ainsi que l'accès à des infrastructures (p. ex., de l'espace de laboratoire) pour des projets d'innovation existants<sup>29</sup>, bien qu'aucun à ce jour n'a porté spécifiquement sur l'I4.0. Récemment, le CARIC et NGen ont offert un accès à du financement

pour le développement de projets collaboratif sous forme de partenariats entre entreprises. En plus d'arbitrer les conflits potentiels entre les entreprises participantes, ce travail du CARIC et de NGEN facilite l'accès aux ressources et aux programmes liés à l'innovation et aux nouvelles technologies<sup>30</sup> :

*Travailler avec des organismes comme Mitacs, les Centres d'excellence de l'Ontario et le CRSNG ...lorsque tu travailles avec l'industrie, [les entreprises] disposent de très peu de capacités. Alors le travail supplémentaire pour mettre au point une approche... beaucoup d'entreprises ne savent pas comment faire ça.*

– REPRÉSENTANT D'UN ORGANISME INTERMÉDIAIRE, TORONTO

Ces organismes jouent donc un rôle important dans la coordination de l'action collective, notamment par leur capacité à synthétiser l'information, à arbitrer les conflits et à sensibiliser les entreprises aux nombreuses sources de financement. Ils les aident également à exploiter les ressources multiples, qui peuvent permettre aux projets de s'échelonner sur une plus longue période.

En ce qui concerne les PME, les services offerts par les différents collègues sont les principaux moyens à leur disposition pour implanter des nouvelles technologies. Les ressources offertes par les collègues permettent de soutenir des projets d'innovation appliquée de courte durée, grâce à certaines subventions obtenues par

28 Ces activités et ces ressources comprennent le travail effectué par divers groupes de recherche universitaires, des ateliers informels en entreprise et des accords formels de recherche multi-entreprises.

29 Un projet d'électrification des trains d'atterrissage en est un exemple.

30 Les deux initiatives sont conçues pour être menées par l'industrie et nécessitent une certaine forme de cofinancement de l'industrie (Office des technologies industrielles, 2014; CARIC, 2014).

le biais d'initiatives telles que le SONAMI.<sup>31</sup> Ces services ne ciblent pas spécifiquement l'I4.0 mais peuvent inclure la mise en œuvre de projets et l'adoption de technologies liés à l'I3.0 ou l'I4.0. Les entreprises peuvent utiliser ces ressources afin de rehausser leurs capacités technologiques. À titre illustratif, une PME s'est dotée d'un robot collaboratif et, avec l'appui un collègue local, a réussi à l'intégrer aux processus de production.

Toutefois, de nombreuses PME ignorent l'existence des services offerts par les collègues. Celles qui étaient au courant en avaient été informées par le biais de différentes initiatives de 'savoirs partagés' développées par les organismes intermédiaires.<sup>32</sup> Certaines PME sont également impliquées dans les activités du CARIC, de GARDN et de NGen, généralement par le biais d'une collaboration avec une plus grande entreprise ou de programmes spécifiques ciblant les PME. Ces différents projets illustrent le rôle crucial que peuvent jouer les organismes intermédiaires pour aider les PME à déployer les nouvelles technologies (OCDE, 2020).

L'un des défis lié à l'I4.0 est que le processus d'adoption est spécifique à la réalité de chaque industrie ce qui en fait un processus qui est difficilement transférable d'une industrie à l'autre. Dès lors, les technologies I4.0 doivent être traduites et adaptées à chaque contexte

31 SONAMI est un consortium de collègues et d'une université (nous considérons que quatre de ces établissements agissent dans la région du Grand Toronto, au sein de la grappe aérospatiale de Toronto). Les projets de SONAMI sont souvent de taille modeste (d'une valeur d'environ 50 000 dollars) et sont subventionnés à moitié par le programme, l'autre moitié des fonds provenant de l'entreprise. L'initiative a reçu 7,3 millions de dollars de FedDev pour son démarrage et ce financement a été renouvelé depuis (Canada Makes, 2017).

32 Nous parlons ici des initiatives de 'savoirs partagés' offertes par les collègues, les universités ou les agences gouvernementales locales.

industriel. et adaptées à chaque contexte industriel. Avec des contraintes de financement plus importantes que jamais – le CARIC n'étant plus financé, le GARDN n'étant renouvelé que jusqu'en mars 2021 et le NGen répondant davantage à une logique intersectorielle – il existe peu de programmes de financement spécifiques à l'industrie aérospatiale. L'absence de mécanismes de «traduction» des innovations technologiques entre les industries pourrait avoir des répercussions importantes sur les taux d'adoption de l'I4.0. Comme l'expliquait un cadre supérieur d'une entreprise de niveau 1, la traduction des innovations de processus dans un contexte industriel donné demande des ressources considérables. Or, ce processus est souvent plus facile lorsqu'on passe d'une industrie avec un processus technologiquement plus complexe (par exemple, les avions) à une autre industrie avec des processus moins complexes. La transition d'un processus simple vers un processus plus complexe s'avère plus difficile.

Bien que les entreprises et les acteurs de la grappe puissent être très inventifs lorsqu'il s'agit de mettre en œuvre des moyens pour développer les innovations technologiques, la plupart des expériences sont localisées et il est difficile de les reproduire à plus grande échelle. À tous les niveaux, il y a souvent un risque que les grandes entreprises « capturent » les ressources et l'expertise développées au sein de la grappe.

## **Pouvoir de définir l'agenda, de produire des ressources collectives et d'expérimenter**

La grappe de Toronto se caractérise par une configuration à faible densité institutionnelle, ce qui réduit les possibilités de développer des actions coordonnées entre les différentes parties prenantes. Les fortes asymétries que

l'on y retrouve entre les PME et les grandes entreprises font en sorte que ces dernières exercent un plus grand pouvoir au sein de la grappe ce qui leur permet de créer, de modeler et d'avoir accès aux ressources assurant leur transition vers l'I4.0 et les compétences futures. Même si aucun acteur ou organisme intermédiaire n'est en mesure d'imposer aux autres sa vision ou sa compréhension de l'I4.0, le pouvoir au sein de la grappe aérospatiale reste concentré autour de quelques grandes entreprises.

Les entreprises et les autres acteurs de la grappe font face à des difficultés et à une résistance dans leurs efforts de développer un agenda commun centré sur les compétences ou l'innovation technologique. Un des défis qui explique en partie ces difficultés repose sur le fait que le développement d'un agenda commun requiert qu'un certain nombre d'acteurs, en particulier les entreprises, partagent de l'information. Différents organismes intermédiaires ont cherché à développer un discours centré sur la nécessité d'approches collectives :

*Cela consiste à passer de l'individuel – du « ce qu'il y a de mieux pour moi » – au « si je réussis, mais que tout est détruit autour de moi » ... il faut passer à l'approche Équipe Canada. Et tout le monde doit participer, ensemble.*

— REPRÉSENTANT D'UN ORGANISME INTERMÉDIAIRE, TORONTO

Actuellement, l'un des organismes qui cherche à favoriser le déploiement d'une approche plus collective est l'OAC. Cependant, cet organisme est quelque peu limité dans les activités qu'il peut entreprendre en raison des restrictions en matière de ressources humaines et de financement. Néanmoins, des initiatives visant la définition d'un agenda commun

sont développées par un petit nombre de grandes entreprises qui cherchent à exercer un leadership. Par exemple, un gestionnaire d'une entreprise de niveau 1 explique comment il exerce des pressions pour forcer la collaboration entre les acteurs avec lesquels travaille l'entreprise :

*Nous n'allons pas avoir dix réunions sur le même sujet. Nous allons mettre sur pied [comme une] « Équipe Canada ». « Êtes-vous intéressés? Oh, à ce sujet, il y a ce collège ou cette université et nous nous attendons à ce que vous travailliez et collaboriez avec eux. Êtes-vous disposés à faire ça? » Et s'ils disent non, nous disons : « OK, eh bien, vous ne faites plus partie du jeu. » Aucun d'entre eux ne dit non.*

— GESTIONNAIRE, GRANDE ENTREPRISE, TORONTO

Les entreprises de la grappe travaillent davantage en collaboration avec les collèges et les universités pour accéder aux compétences en matière de recherche, et ce, tant fondamentale qu'appliquée. Un certain nombre d'initiatives (p. ex., DAIR, CARIC et des ateliers informels) ont été conçues pour développer ces liens et elles semblent fonctionner. Quoique le nombre d'organismes intermédiaires ait aussi augmenté dans la grappe, ceux-ci ne semblent pas jouer un grand rôle de coordination, plusieurs d'entre eux étant limités par la rareté des ressources à l'échelle de la grappe.

Sur le plan de l'échange d'information et de connaissances, signalons d'emblée que la collecte, la présentation et la disponibilité des données de la grappe (p. ex., le nombre d'entreprises et la répartition de la main-d'œuvre) sont limitées. Plus encore, ces données ne sont pas rendues disponibles annuellement (ni même régulièrement) et toutes les parties prenantes de la grappe n'y ont pas



accès. Par ailleurs, aucune donnée au sein de la grappe n'est produite quant aux taux d'adoption de l'I4.0, à sa mise en œuvre ou à son impact sur les compétences. Cela a pour conséquence de rendre la prise de décision plus difficile pour les acteurs au sein de la grappe tout en réduisant l'étalonnage avec d'autres grappes de l'aérospatiale. La disponibilité de ressources collectives pour assurer le développement des compétences et des innovations technologiques augmentent mais ces ressources restent limitées par rapport aux besoins de l'industrie. Lorsque ces ressources sont disponibles, elles sont généralement associées à des projets particuliers (plutôt qu'à des programmes à plus long terme) et sont souvent limitées à des formes localisées d'expérimentation organisationnelle.

Les grandes entreprises semblent être plus à même de façonner l'agenda commun, les relations entre les acteurs en ce qui concerne l'I4.0 et les compétences futures, mais aussi, de capturer les ressources, notamment le financement, qui sont produites à l'échelle de la grappe. Ces grandes entreprises ont tiré des avantages considérables de la flexibilité et de l'agilité de la CIR, ce qui démontre encore plus leur capacité à façonner l'industrie aérospatiale au Canada. À titre de comparaison, les acteurs avec moins de pouvoir, comme les syndicats et les PME, ont beaucoup moins de moyens à leur disposition pour façonner le développement de la grappe et les type de ressources collectives fournies par les organismes intermédiaires.

Les syndicats ont produit des rapports pour orienter le processus d'élaboration de l'agenda et mettre de la pression sur le gouvernement fédéral afin qu'il développe une stratégie industrielle nationale. UNIFOR a mis en place un conseil national de l'aérospatiale où les représentants syndicaux se réunissent pour fixer l'agenda de l'année et proposer des

solutions aux défis auxquels les travailleurs sont confrontés. Une forte activité syndicale se manifeste également en milieu de travail, en particulier pour l'élaboration dans les conventions collectives de nouvelles dispositions concernant les changements technologiques. Toutefois, sur le plan de la gouvernance de la grappe, les syndicats sont absents; ils n'ont pas de voix au sein des conseils d'administration des organismes intermédiaires sectoriels.

Les PME ne disposent pas des ressources internes et externes nécessaires pour concurrencer les grandes entreprises. Elles sont incapables d'agir ensemble et d'établir un agenda commun qui met en avant leurs besoins spécifiques. En outre, il existe peu de mécanismes collectifs ou d'organismes intermédiaires sectoriels qui puissent les aider à exprimer et à faire valoir leur vision, ou leur compréhension, de l'I4.0. Les PME sont ainsi limitées quant à leur capacité à représenter leurs intérêts en questionnant par exemple les différentes conceptions de l'I4.0 (par ex., celles qui sont mises de l'avant dans les grandes entreprises). En ce sens, même les PME qui ont mis en œuvre l'I4.0 ne semblent pas être en mesure d'influencer le discours dominant sur l'I4.0 à l'échelle de la grappe. Les dirigeants de PME doivent développer leurs propres capacités et leur capital social, et faire preuve d'imagination pour générer leurs propres opportunités afin d'accéder aux ressources limitées de la grappe qui sont à leur disposition.

Il y a donc eu des changements importants au niveau de la grappe. Auparavant, la grappe aérospatiale avait un CIR qui adhérait presque exclusivement à une approche centrée sur l'entreprise en ce qui concerne le développement des compétences et des innovations technologiques. Le nombre croissant d'organismes intermédiaires sectoriels



et le développement d'initiatives par d'autres organisations (collèges/universités) ont contribué à la création de réseaux favorisant développement des compétences et le transfert technologique. Ces initiatives sont importantes car elles peuvent permettre d'institutionnaliser les expériences organisationnelles et de les diffuser à l'échelle de la grappe.

## Configuration institutionnelle régionale de Montréal

### Héritage institutionnel de la CIR de Montréal

Un des traits distinctifs de la grappe aérospatiale de Montréal est sa configuration à forte densité institutionnelle qui se structure autour d'une variété d'organismes intermédiaires,<sup>33</sup> qui fournissent diverses ressources aux parties prenantes (Hassen et al., 2011; Tremblay et al. 2012; Warrian et Mulhern, 2009). Ces organismes intermédiaires sectoriels bénéficient d'un soutien financier du gouvernement même si des entreprises et d'autres organisations y contribuent également (que ce soit financièrement ou en

nature).<sup>34</sup> Le premier organisme intermédiaire, le CAMAQ (Comité sectoriel de main-d'œuvre en aérospatiale) fondé en 1983, fonctionne sur une base paritaire. Au sein du conseil d'administration, les représentants patronaux et syndicaux ont un poids égal dans le processus décisionnel.<sup>35</sup>

Au cours des années 1980 et 1990, le CAMAQ était le principal lieu de coordination au sein de l'industrie aérospatiale au Québec (CAMAQ, 2019b), mais il partage maintenant ce rôle avec d'autres organismes intermédiaires sectoriels. Le CAMAQ a participé à l'élaboration de nombreux programmes de formation spécialisée et a contribué de manière importante à la constitution d'un bassin de travailleurs qualifiés. En plus de favoriser la coopération patronale et syndicale à l'égard d'enjeux communs tels que la formation, le CAMAQ est devenu un acteur important dans la définition d'un agenda commun au sein de l'industrie. Il a notamment rassemblé les diverses parties prenantes

34 À l'échelle de la province, les principales sources de financement proviennent du ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations (MEIE), du Fonds de nature et technologie du Québec et de la Caisse de dépôt et placement du Québec. Pour la période de 2016 à 2021, le gouvernement provincial (par le biais du MEIE) s'appuie sur un cadre financier de 250 millions de dollars. Les entreprises peuvent également tirer parti d'une source de financement complémentaire aux bailleurs de fonds traditionnels, soit les sociétés de capital de risque (p. ex., le Fonds de solidarité FTQ).

35 Voir l'annexe C pour obtenir une liste plus détaillée des acteurs de la CIR.

33 Voir le tableau 1 en Annexe A.

autour de l'importance d'investir dans le développement des compétences de la main-d'œuvre. Comme l'a souligné un représentant syndical, la participation des syndicats au CAMAQ leur a donné la possibilité d'aborder des enjeux de l'aérospatiale sous un autre angle :

*Nous avons eu de bons débats au CAMAQ. Moi, j'aimais ça parce que je retirais mon étiquette de « représentant syndical ». Je considérais davantage l'ensemble du contexte de l'industrie aérospatiale au Québec. Comment obtenir davantage de travail au Québec et d'orienter les débats au sein des entreprises.*

— REPRÉSENTANT SYNDICAL, MONTRÉAL

En 1997, les PME ont créé leur propre association (l'Association québécoise de l'aérospatiale, ou AQA) pour exprimer leurs préoccupations et représenter leurs intérêts auprès des différents ordres de gouvernement et des multinationales. La transformation des stratégies d'approvisionnement des grandes entreprises axées sur une réduction du nombre de fournisseurs, un transfert des risques, une plus grande sensibilité aux prix et la recherche de fournisseurs ayant une offre de services plus intégrée, ont exercé des pressions sur les PME québécoises. L'un des principaux défis de l'AQA consistait alors à renforcer les capacités des PME et à faciliter les relations avec les grandes entreprises afin de favoriser l'innovation et de garantir l'intégration des PME dans les chaînes d'approvisionnement mondiales. L'AQA a été une pionnière en ce qu'elle a amené les PME à prendre conscience de leurs intérêts communs, et à agir ensemble et parler d'une seule voix.

Le CRIAQ (Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale du Québec) a été fondé en 2002 sous l'impulsion de plusieurs universités et de grandes entreprises<sup>36</sup>. Les projets du CRIAQ se concentrent sur la recherche précompétitive. Depuis sa création, le CRIAQ a organisé des activités, dont des forums annuels, visant à mettre en lumière les thèmes les plus pertinents pour les entreprises, et à les lier aux intérêts de chercheurs universitaires. Ces activités ont réduit les obstacles traditionnels entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée – de même qu'entre les entreprises et les universités – tout en encourageant une plus grande collaboration sur des initiatives d'innovation ouverte entre diverses parties prenantes.

Prenant appui sur le modèle de grappe industriel établi par la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM), et en collaboration avec le gouvernement provincial (CMM, 2005), des dirigeants de grandes entreprises et des représentants des différents segments de l'industrie ont créé Aéro Montréal en 2006. Aéro Montréal se démarque par sa capacité à rassembler des représentants de toutes les parties prenantes : des grandes entreprises et des PME, du mouvement syndical, des organismes de recherche et d'enseignement, du CAMAQ et du CRIAQ.<sup>37</sup> La mise sur pied d'Aéro Montréal a donné lieu à une redéfinition des relations entre les acteurs et les organismes intermédiaires au sein de l'industrie, comme le souligne cet interlocuteur d'Aéro Montréal :

36 Notons que le conseil d'administration du CRIAQ est composé de représentants provenant de l'industrie et du milieu de la recherche académique.

37 Il importe de mentionner qu'en 2012, l'AQA a fusionné avec Aéro Montréal, et que les six représentants des PME au conseil d'administration d'Aéro Montréal sont sélectionnés par vote électronique.

*Au début, c'était difficile parce que, bien, Aéro Montréal est apparu... le CRIAQ et le CAMAQ existaient déjà, puis nous leur avons dit : « Eh bien, là, venez avec nous sur la patinoire. » Vous savez, au départ, les gens n'ont pas aimé ça. Surtout parce que nous avons les décideurs... alors qu'eux, ils n'ont pas ces gens-là dans leurs conseils d'administration.*

— REPRÉSENTANT, AÉRO MONTRÉAL, MONTRÉAL

Dans sa dernière planification stratégique, Aéro Montréal a identifié quatre piliers clés pour l'industrie : 1) la croissance, 2) l'innovation, la compétitivité et la productivité, 3) la main-d'œuvre et 4) l'image, l'influence et le marketing. Chacun de ces piliers est structuré autour d'un ou de plusieurs groupes de travail, comités, programmes ou initiatives.

Depuis 40 ans, divers acteurs au sein de la grappe ont bâti la CIR en répondant aux événements imprévus auxquels l'industrie était confrontée. Cette stratégie émergente était articulée autour de la résolution des problèmes concrets dans l'industrie, comme l'amélioration des compétences de la main-d'œuvre, le renforcement de la collaboration ouverte sur la production et l'innovation technologique et le développement des capacités des PME.

Les organismes intermédiaires sectoriels (c.-à-d. Aéro Montréal, le CAMAQ et le CRIAQ) sont relativement autonomes, mais ils fonctionnent de manière complémentaire et coordonnée. Chacun de ces organismes élabore ses propres projets de manière indépendante, tout en participant également à des projets communs selon l'enjeu en question. Cette diversité institutionnelle a créé de l'espace pour la participation d'une gamme d'acteurs : des grandes entreprises aux PME, en passant par les syndicats et les organismes de recherche et d'enseignement. Le pouvoir n'est

pas réparti uniformément entre les différents acteurs. Néanmoins, grâce à ces organismes intermédiaires les acteurs ayant moins de pouvoir, comme les PME et les syndicats, obtiennent une voix et peuvent influencer le cours des événements. Ils peuvent contribuer à la définition de l'agenda et aux processus de prise de décision, tout en ayant accès à des connaissances, de l'expertise et des ressources matérielles

## Ressources de la grappe et dynamique actuelle

À Montréal, le développement des compétences et les initiatives en matière de nouvelle technologie se produisent à la fois au niveau de l'entreprise et de la grappe. Une des conséquences d'une approche centrée sur l'entreprise est la prévalence de stratégies individualistes, ce qui peut donner lieu, par exemple à du débauchage. Dans le cadre de relations axées sur la compétition, les grandes entreprises exercent un énorme pouvoir d'attraction et peuvent puiser dans un plus grand bassin de travailleurs en leur offrant de meilleures conditions de travail. Il s'agit d'un problème récurrent soulevé par les PME, comme le souligne ce directeur des RH :

*Parce que ces grandes entreprises... lorsqu'elles embauchent, tu prends ce qui reste. Il faut que tu acceptes ça... Ce sont toutes des choses qui sont difficiles à gérer, parce qu'à un moment donné, tu te dis : « oui, je peux augmenter les salaires ». Mais nous n'avons pas la capacité [d'une grande entreprise]; nous ne faisons pas des milliards.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

Il y a également de nombreuses entreprises qui prennent elles-mêmes des mesures pour faire face aux problèmes liés à la gestion des compétences, de la production et de la



technologie. Elles travaillent régulièrement avec des organismes du marché du travail et de l'enseignement pour répondre à leurs besoins spécifiques en matière de développement des compétences. Elles collaborent aussi étroitement avec des cabinets d'experts-conseils afin d'améliorer leurs pratiques, en particulier en ce qui concerne la mise en œuvre de nouvelles technologies et de nouveaux processus de production.

En matière de développement des compétences et d'innovations technologiques, les approches centrées sur l'entreprise sont toujours répandues, mais les organismes intermédiaires sectoriels disposent d'une capacité unique à favoriser des réseaux de collaboration et des actions coordonnées. Il est souvent difficile de faire la distinction entre les approches en réseau, et celles coordonnées parce qu'elles fonctionnent en tandem, les acteurs puisant dans ces deux types d'approches pour satisfaire à leurs besoins. De fait, dans de nombreux cas, les approches coordonnées mènent à des formes plus informelles de collaboration en réseau dans le cadre desquelles les acteurs développent de nouvelles ressources et capacités.

Au fil des ans, les acteurs à Montréal ont mis au point divers programmes et initiatives visant à améliorer la compétitivité de l'industrie aérospatiale. Dans les sections suivantes, nous analysons de manière plus détaillée les approches (centrées sur l'entreprise, les réseaux ou la coordination des actions) mises de l'avant au sein de la grappe aérospatiale de Montréal pour assurer le développement des compétences de la main-d'œuvre et des innovations technologiques.



***Trois universités de Montréal ont créé une maîtrise en génie mécanique avec une option en aéronautique. En 1989, ces universités ont collaboré avec l'industrie pour lancer une maîtrise en aérospatiale.***

## **INITIATIVES AXÉES SUR LE DÉVELOPPEMENT DES COMPÉTENCES**

La grappe de l'industrie aérospatiale peut puiser dans un important bassin d'établissements de formation et d'enseignement. L'École nationale d'aérotechnique (ÉNA) a été fondée dès 1964 pour former des techniciens en construction d'aéronefs, en maintenance d'aéronefs et en avionique (ÉNA, 2011). En 1994, sous l'impulsion du CAMAQ et en partenariat avec le ministère de l'Éducation du Québec, l'École des métiers de l'aérospatiale de Montréal (ÉMAM) était fondée. Cette dernière offre une formation de niveau secondaire selon une formule « d'école-usine »; elle forme des travailleurs qualifiés grâce à divers programmes spécialisés en aérospatiale.

Au niveau universitaire, dès 1984, trois universités de Montréal ont créé une maîtrise en génie mécanique avec une option en aéronautique. En 1989, ces universités ont collaboré avec l'industrie pour lancer une maîtrise en aérospatiale. Ce programme coordonné par le CAMAQ comprend actuellement six universités. Depuis 2001, les Instituts aérospatiaux de Montréal (IAM) sélectionnent des étudiants de première année

en génie suivant leurs résultats scolaires, leurs compétences et leur intérêt pour l'aérospatiale. Ces étudiants du premier cycle (environ 300 par an) participent à divers projets, comme des stages locaux et internationaux, du mentorat, des cours et des visites industrielles. Les quatre universités de Montréal participent à ce projet, soit l'École de technologie supérieure (ÉTS, affiliée à l'Université du Québec à Montréal), l'École polytechnique (affiliée à l'Université de Montréal), Concordia et McGill. Le CAMAQ a également participé à la création du Laboratoire d'enseignement des systèmes intégrés en aérospatiale du Québec (LESIAQ). En 2013, dans le cadre d'une initiative conjointe menée par l'ÉTS et l'Université McGill, le programme CAPE (Centre aérospatial de perfectionnement) a été créé afin de satisfaire aux besoins de formation des professionnels et ingénieurs de l'aérospatiale.

L'un des mandats importants du CAMAQ consiste à promouvoir la gestion constante du flux de main-d'œuvre au sein de la grappe. Depuis 1984, le CAMAQ produit des bilans sectoriels et des enquêtes annuelles sur les prévisions de main-d'œuvre. Alors que les bilans contribuent davantage à la planification à moyen et à long terme, les enquêtes donnent une idée des besoins à court terme des entreprises. Un recensement est également conduit annuellement pour cerner les besoins en formation des entreprises et pour repérer les métiers dans lesquels il est plus difficile de recruter. Le CAMAQ produit aussi un rapport annuel consolidé qui permet aux parties prenantes de suivre l'évolution du marché du travail et de déterminer les grandes tendances dans leur industrie. D'année en année, environ 90 % des entreprises de la grappe participent à l'enquête et partagent ainsi de l'information qui devient ensuite une ressource collective à la disposition de toutes les parties prenantes concernées.

Le CAMAQ a récemment mis sur pied diverses initiatives pour assurer le développement d'une main-d'œuvre qualifiée, incluant des comités régionaux de ressources humaines, pour répondre sur une base ponctuelle aux besoins de formation des entreprises et en particulier des PME. Ces comités régionaux ont commencé à offrir des services plus ciblés aux entreprises. Le CAMAQ est également reconnu comme un organisme de formation par Emploi Québec; il soutient et conseille les PME de l'aérospatiale dans l'élaboration de plans de formation pour leur personnel.

Le CAMAQ participe également à l'amélioration des pratiques de gestion des ressources humaines (GRH) dans les entreprises, par le biais d'une initiative visant à partager et à diffuser les meilleures pratiques. Ce processus commence par la mise en commun d'expériences notables, puis par la sélection d'une PME ou d'une grande entreprise qui se démarque par ses politiques ou pratiques innovantes. Dans certains cas, cela peut être complété par des visites d'entreprises, où les gestionnaires de l'entreprise sélectionnée sont invités à expliquer, à des gestionnaires provenant d'autres entreprises du secteur, ses pratiques innovantes. Cette initiative encourage l'échange d'expériences concrètes et le transfert de pratiques innovantes tout en facilitant le réseautage parmi les PME. Un gestionnaire d'une PME a reconnu les avantages de l'échange d'expériences concrètes :

*Mais il n'y aucune idée qui puisse exister sans être alimentée par ce que font les autres entreprises. Comme je le disais, la visite à [nom de la PME caviardé] nous a vraiment donné des idées sur la manière de faire ça, parce qu'ils ont même suggéré une forme de partenariat.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL



Aéro Montréal contribue également au renouvellement des compétences par le biais d'initiatives variées. Dans l'une de ces initiatives provenant d'un groupe de travail, le Chantier « Relève et main-d'œuvre », Aéro Montréal a collaboré avec le CAMAQ pour joindre les écoles et attirer les jeunes dans l'industrie. Cette initiative s'est traduite par un projet intitulé « Ça plane pour moi », qui a visé les élèves du primaire et a cherché à leur faire connaître les carrières en STIM dans l'aérospatiale. Aéro Montréal a également organisé divers groupes de travail, notamment sur le transfert intergénérationnel de connaissances (Projet Héritage) et sur l'inclusion des femmes et des groupes racialisés dans l'industrie.

Dans le but de favoriser l'amélioration des compétences liées à l'I4.0, Aéro Montréal a organisé une série d'ateliers, de visites industrielles et d'entrevues avec des gestionnaires afin de préparer un « guide des compétences » pour l'industrie (Aéro Montréal, 2018). Le guide est présenté comme un cadre de référence que les entreprises peuvent utiliser pour évaluer leurs pratiques actuelles et leurs besoins futurs. Il identifie sept compétences essentielles liées au

développement et au fonctionnement de l'I4.0.<sup>38</sup> Ces compétences essentielles sont ensuite liées à plus de 40 indicateurs pour les grandes catégories d'emploi dans l'industrie (p. ex., travailleurs d'atelier, techniciens, superviseurs et gestionnaires). Le guide indique comment les exigences en matière de compétences varient en fonction de chaque catégorie d'emploi (p. ex., en notant pour chaque indicateur un niveau de compétence exigé).

Le point crucial, cependant, est que grâce à ce guide, Aéro Montréal produit des normes de formation et de compétences pour l'industrie. Ces normes ne sont pas exécutoires, mais elles représentent une première étape vers la diffusion des meilleures pratiques de formation pour la mise en œuvre de l'I4.0.

## **INITIATIVES AXÉES SUR LES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES**

Les initiatives conçues pour favoriser l'innovation technologique sont nombreuses. À ce titre, cette section se concentre sur celles qui

<sup>38</sup> Les sept compétences essentielles sont liées aux domaines suivants : 1) la technologie et le monde numérique; 2) les compétences relationnelles et organisationnelles; 3) les mathématiques et la programmation; 4) l'exploitation des données; 5) l'intégration et l'automatisation; 6) l'optimisation des processus; et 7) la gestion des affaires pour l'I4.0 et la coopération (compétition coopérative).

favorisent le développement des compétences futures et de l'I4.0, notamment les projets du CRIAQ qui encouragent la collaboration ouverte, les programmes MACH et MACH FAB 4.0 menés par Aéro Montréal pour améliorer les capacités des PME et le projet Aérospatiale 4.0 créé par AÉROÉTS<sup>39</sup> pour favoriser la mise en œuvre de l'I4.0.

Les activités du CRIAQ s'articulent autour de trois sphères d'intervention : 1) renforcer le leadership technologique de l'industrie aérospatiale au Québec, 2) soutenir la coévolution de l'écosystème de la recherche et de l'innovation en aérospatiale avec d'autres consortiums, notamment à l'échelle internationale et 3) stimuler la diversité, la créativité et le développement des talents des chercheurs dans le domaine de l'aérospatiale. Le modèle d'innovation ouvert et collaboratif du CRIAQ bénéficie du soutien financier de l'industrie, des universités et des gouvernements. Il est considéré comme un moyen unique de rehausser la compétitivité de l'industrie aérospatiale canadienne.

En tant qu'intermédiaire dans un système de collaboration ouverte, le CRIAQ encourage les entreprises à travailler sur divers projets. Le CRIAQ assure la synergie entre les différentes parties prenantes et exige le respect de certaines conditions minimales dans tous ses projets. Par exemple, chaque projet doit impliquer la participation de deux entreprises et de deux organismes de recherche, comme des universités ou des collèges. Cette condition est également imposée pour les projets à plus grande échelle, et les produits de cette innovation sont habituellement commercialisés par une ou plusieurs des

entreprises partenaires. De 2002 à 2004, aucun projet de recherche n'a abouti, bien qu'une vingtaine de projets aient été lancés; les discussions ont échoué sur les droits de propriété intellectuelle. Pour contrer cette difficulté, le CRIAQ a conçu une entente selon laquelle il est convenu que les entreprises impliquées dans tout projet conservent la propriété des technologies dans l'industrie aérospatiale, mais que les universités peuvent bénéficier des technologies développées en les commercialisant dans d'autres industries. Depuis lors, environ 155 projets ont été réalisés ou sont en cours (CRIAQ, 2018) et 85 % des entreprises membres sont des PME ou des entreprises en démarrage. Ces projets font généralement intervenir trois ou quatre entreprises et un nombre équivalent de centres de recherche.

Tous les projets menés au CRIAQ entraînent la participation d'étudiants de maîtrise et de doctorat, et aussi, dans certains cas, d'étudiants postdoctoraux. À ce titre, le CRIAQ est un incubateur de jeunes talents qui génère un bassin de main-d'œuvre avec des compétences spécialisées pour les entreprises de l'industrie. Ce type de collaboration encourage le transfert des connaissances tout en permettant aux étudiants de s'intégrer à des réseaux professionnels.

Le CRIAQ est très impliqué dans le maillage des entreprises, des universités et des centres de recherche. Entre autres, les forums qu'ils organisent servent à la planification de projets de recherche, permettent entre autres d'articuler les besoins actuels et futurs de l'industrie en matière de compétences. Le CRIAQ contribue à la gestion des talents et au développement des compétences grâce aux réseaux qui se forment autour des projets de recherche canadiens, ainsi qu'à la culture d'échange et de collaboration qu'il encourage. Par exemple, les différents

39 AÉROÉTS est un regroupement visant à la promotion et l'intégration des activités en aérospatiale de l'École de technologie supérieure (ÉTS).



réseaux auxquels le CRIAQ donne accès – qu'ils soient interuniversitaires, interentreprises ou regroupant des universités et des entreprises – peuvent permettre aux entreprises avec peu de ressources, telles que les PME, d'accéder à la R et D et aux compétences des jeunes talents de la région.

Le CRIAQ a également été un contributeur crucial dans la création et le développement du CARIC, qui se concentre sur des projets de recherche collaborative en voie de commercialisation. Enfin, le CRIAQ participe au projet GARDN (aviation durable) et a adopté, avec le soutien d'Aéro Montréal, un rôle de premier plan dans le projet mobilisateur de l'avion écologique lancé par le gouvernement du Québec sous le nom de SA<sup>2</sup>GE (Systèmes aéronautiques d'avant-garde pour l'environnement).

Aéro Montréal a initié en 2011 le programme MACH afin de favoriser le rehaussement des capacités des PME et leur intégration au sein des chaînes d'approvisionnement mondiales. Le principal objectif du programme MACH est de faire évoluer les réflexions afin qu'elles portent moins sur les « problèmes de productivité des PME » et davantage sur « la compétitivité des PME ». Ainsi, le programme a suscité des discussions au sujet des capacités des PME, notamment les compétences et habiletés de gestion des dirigeants, les pratiques de GRH et celles liées à la gestion de projet :

*Ce que nous voulions, avec MACH, ce n'était pas d'aider les PME à être plus productives. Nous voulions les aider à être plus concurrentielles... La gestion des opérations était déjà leur point fort; mais la GRH, les pratiques de leadership et la gouvernance [n'étaient pas à la hauteur].*

— REPRÉSENTANT, AÉRO MONTRÉAL,  
MONTRÉAL

MACH est programme innovant vu la façon dont Aéro Montréal a favorisé le rehaussement des capacités des PME et le renforcement des relations entre les grandes entreprises et les PME au sein de la grappe. En fait, le programme MACH consiste à établir des relations de parrainage entre de grandes entreprises et des PME. Dans le cadre d'une telle relation, une grande entreprise s'engage à appuyer de différentes manières une PME (généralement un de ses fournisseurs) pour permettre à cette dernière de renforcer ses capacités.

Du point de vue des PME, la nature des relations avec les parrains dans le cadre de ce programme n'est pas univoque (Pérez-Lauzon, 2021). Dans certains cas, les grandes entreprises semblaient moins enclines à consacrer des ressources aux PME; dans d'autres cas, les PME estiment que leurs parrains tentaient, à travers MACH, de prendre le contrôle de leurs activités. Dans un autre cas de figure, le parrain s'est montré dévoué, et la PME est devenue pour lui un fournisseur clé. Dans d'autres cas, des PME, initialement parrainées dans le programme, ont agi à titre de parrains auprès de leurs propres fournisseurs. Ces relations de parrainage entre deux PME ont généralement produit des résultats plus positifs. Les deux parties avaient en commun des expériences semblables; le parrain pouvait agir comme un « modèle » plus en phase avec les besoins d'une autre PME.

Même si ces relations de parrainage ont pris diverses formes, la plupart des PME jugent que le programme les a aidées à mettre en œuvre des changements importants et à améliorer leurs capacités :

*Il n'y a aucun doute que notre évolution est liée à MACH. Il n'y a aucun doute là-dessus. Parce que sans celui-ci, nous n'aurions jamais redéfini notre vision. Nous n'aurions jamais atteint ce niveau de*



*En 2019, l'initiative MACH comptait cinq cohortes totalisant près de 70 fournisseurs et plus de 30 parrains. Selon Aéro Montréal, ces PME ont participé à environ 900 projets terminés ou en cours (Aéro Montréal, 2020) qui représentent environ 13 millions de dollars au total.*

*gestion, [et nous n'aurions jamais] fixé nos objectifs sur ce que nous visons maintenant.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

Les PME participantes sont classées sur une échelle de « maturité MACH » à cinq niveaux. Le niveau cinq est le plus élevé et il est attribué aux PME qu'Aéro Montréal considère comme des fournisseurs de classe mondiale. À mesure que les PME progressent à travers les niveaux de maturité, elles obtiennent l'accès à davantage de ressources financières pour accomplir leurs projets. Afin de mesurer leur progression, on évalue les PME tous les ans ainsi qu'après l'achèvement d'un cycle complet de projets.

En 2019, l'initiative MACH comptait cinq cohortes totalisant près de 70 fournisseurs et plus de 30 parrains. Selon Aéro Montréal, ces PME ont participé à environ 900 projets terminés ou en cours (Aéro Montréal, 2020) qui représentent environ 13 millions de dollars au total (Aéro Montréal, 2019, p. 15).

Les PME qui participent au programme MACH bénéficient d'un processus de certification reconnu, d'une relation de mentorat, de soutien financier et d'expertise supplémentaire dans le cadre d'un accompagnement dans des projets sur mesure. Le programme MACH permet également d'accéder à des formations et à des activités élaborées exclusivement pour la « communauté MACH » par Aéro Montréal. Ces activités fournissent des occasions de bâtir un capital social et des réseaux et offrent un moyen aux PME d'échanger des informations et de partager les meilleures pratiques. Ces activités ont aussi un rôle symbolique, puisqu'Aéro Montréal considère les PME de MACH comme des fournisseurs d'élite ou en devenir :

*Et MACH, juste MACH... ça nous a fait entrer dans ce monde qui est en quelque sorte fermé. Parce que l'industrie [aérospatiale] place véritablement toutes les entreprises MACH sur un piédestal.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

Le programme MACH FAB 4.0 – mis sur pied en 2016 par Aéro Montréal avec divers partenaires, notamment AÉROÉTS, le CEFRIO (Centre facilitant la recherche et l'innovation dans les organisations) et le STIQ (Sous-traitance industrielle Québec) – s'inscrit dans la continuité directe du programme MACH et s'harmonise à la Stratégie aérospatiale du Québec pour 2016-2026.

Son objectif consiste à appuyer jusqu'à 50 PME dans leur transition vers l'I4.0 et la fabrication avancée. Il s'agit d'un « programme d'accompagnement sur mesure » pour les PME, visant à appuyer des projets liés à l'adoption de l'I4.0 : la gestion de la production en temps réel; l'optimisation du cycle de production en utilisant la simulation pour effectuer l'ordonnancement de la production des machines; l'exploration

de données pour l'entretien préventif des équipements de fabrication; et l'interconnexion des PGI dans l'ensemble de la chaîne de valeur.

Ce programme est un moteur important pour soutenir et financer les projets de transition numérique des PME qui s'inscrivent dans un horizon de six mois à deux ans. En 2019, 37 PME participaient au programme, 42 cycles d'amélioration avaient été amorcés et 110 projets étaient en cours ou terminés (Aéro Montréal, 2019, p. 16). Selon un gestionnaire de PME, MACH FAB est arrivé à point nommé :

*MACH FAB était la suite logique de MACH... c'est super, le programme MACH. C'est super, faire des audits; c'est super d'attribuer une cote de maturité [et] c'est super de faire bouger les gens dans les projets, et tout ça. Mais... nous voulons ajouter la dimension numérique à MACH, aussi...*

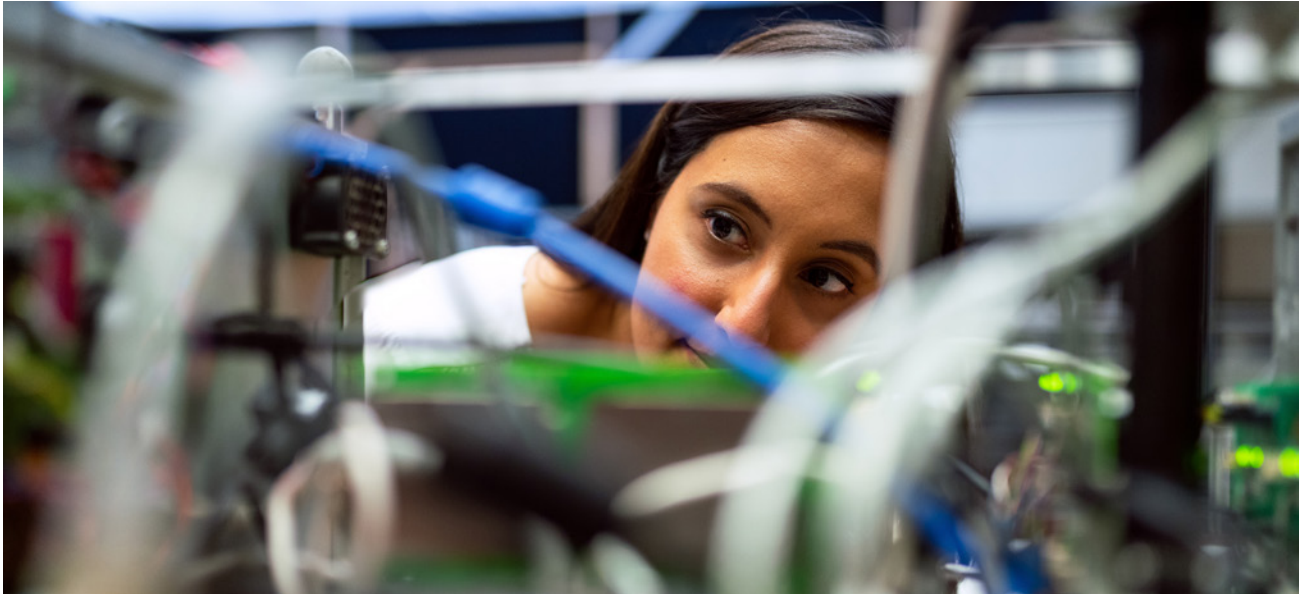
— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

Enfin, la dernière initiative qui favorise la mise à niveau tant des technologies que des compétences est Aérospatiale 4.0, créée par AÉROÉTS. Ayant vu le jour en 2016, cette dernière intègre la recherche, l'enseignement et la formation continue afin de satisfaire les besoins de l'I4.0 dans l'industrie aérospatiale. L'initiative comprend l'enseignement, la formation, et la R et D. Il rassemble plusieurs chercheurs et acteurs du milieu de l'enseignement pour entreprendre des études sur l'I4.0 dans l'industrie aérospatiale. Cette initiative vise à aider les entreprises à devenir des entreprises numériques et intelligentes. La dimension enseignement et formation mobilise les ressources d'AÉROÉTS pour concevoir des formations de courte durée qui prépareront l'industrie aérospatiale à développer de nouvelles compétences requises par l'I4.0.

Chacune de ces initiatives (les projets du CRIAQ, les programmes MACH et MACH FAB 4.0, Aérospatiale 4.0) implique divers acteurs et organismes intermédiaires qui travaillent ensemble pour relever les défis posés par l'I4.0. Les initiatives, qui sont financées par une combinaison de fonds privés et publics, procurent des ressources collectives aux entreprises, en particulier aux PME. Ces ressources ne sont toutefois réparties uniformément ni entre les entreprises, ni entre les organismes, puisque certaines entreprises sont mieux placées que d'autres pour accéder et tirer parti de ces ressources collectives.

## **Pouvoir de définir l'agenda et de produire des ressources collectives d'expérimenter**

Un des traits distinctifs de la CIR de Montréal est le haut degré de coordination entre ses différents organismes intermédiaires. Au fil des ans, Aéro Montréal est devenu un organisme essentiel, capable d'exercer un contrôle sur l'allocation des ressources et d'établir les priorités et les programmes pour l'ensemble de la grappe. D'autres organismes intermédiaires, tels que le CAMAQ et le CRIAQ, ne sont pas sans pouvoir, mais ils n'ont pas la même portée et ne peuvent pas s'appuyer sur autant de ressources, qu'elles soient financières, matérielles ou organisationnelles. Pourtant, les relations entre ces trois principaux organismes intermédiaires sont orientées vers la collaboration plutôt que la compétition, même si chacun d'entre eux tente d'établir l'agenda en fonction de son champ d'action et de protéger son expertise.



La collaboration entre ces trois organismes intermédiaires et d'autres parties prenantes a amélioré la capacité de la CIR à créer et à fournir diverses ressources collectives aux entreprises. Ces ressources comprennent du soutien à la formation, des compétences en recherche, de l'information et de l'expertise sur la mise en œuvre de nouvelles technologies, le tout pour aider les entreprises à faire face aux défis posés par l'I4.0 et les compétences futures. Ainsi, au fil des ans, la CIR s'est densifiée et a créé un environnement riche en ressources pour les entreprises, combinant des ressources collectives et privées qui soutiennent le développement de la grappe.

Les grandes entreprises jouent non seulement un rôle prédominant dans l'élaboration de l'agenda et l'allocation des ressources, mais elles sont également en mesure de capturer les ressources collectives produites au sein de la grappe. Toutefois, il existe divers contrepoids pour éviter que le pouvoir ne soit pas excessivement concentré. Malgré la forte présence de représentants d'entreprises, les syndicats sont représentés au conseil d'administration d'Aéro Montréal. Au conseil d'administration du CAMAQ, les syndicats ont autant de poids dans la prise de décision

que les représentants des employeurs. La présence de syndicats au sein de ces conseils d'administration leur offre un espace pour façonner l'agenda et infléchir les décisions concernant non seulement les compétences futures, mais aussi, plus largement, le positionnement stratégique de la grappe aérospatiale.

Les PME ne sont pas non plus sans pouvoir, puisque six de leurs représentants siègent au conseil d'administration d'Aéro Montréal. De plus, les données officielles d'Aéro Montréal, du CAMAQ et du CRIAQ indiquent que les PME sont très impliquées dans les différents forums, ateliers, comités et activités organisés par chacun des organismes intermédiaires. Cette implication leur permet non seulement d'obtenir des informations, mais aussi de moduler le contenu des programmes. Les PME ont également accès à diverses ressources (p. ex., le programme MACH), et elles sont en mesure d'agir collectivement, d'échanger de l'information et de collaborer entre elles dans le cadre de divers projets. Ce gestionnaire souligne le changement qu'il a observé, sur une période de dix ans, dans les relations entre les PME :



*Au cours des dix dernières années, comme je vous l'expliquais, c'est devenu plus facile d'échanger certaines choses, parce qu'[auparavant], nous voulions tout garder pour nous-mêmes et nous ne voulions pas partager. Mais nous réalisons que la compétition ne se joue pas entre nous. C'est vraiment mondial, et nous pouvons nous entraider. Je pense que MACH y a été pour beaucoup.*

— GESTIONNAIRE, PME, MONTRÉAL

Si la collaboration entre les PME s'est accrue, la concurrence s'est également intensifiée et a pris d'autres formes. Les PME ne se livrent pas uniquement concurrence pour accroître leur part de marché : elles le font aussi pour accéder aux ressources collectives. Bien que la CIR de Montréal soit assez inclusive – avec de nombreuses PME ayant accès à divers programmes et réseaux – des formes subtiles d'exclusion persistent. Si une PME ne fait pas partie du groupe « d'élite » des entreprises (par ex. programme MACH), il devient très difficile pour elle de participer aux différents réseaux et d'accéder aux ressources offertes par les organismes intermédiaires. Pour accéder à ces ressources collectives, les PME doivent respecter les « règles du jeu » et aussi avoir déjà développé leurs propres capacités et ressources. Autrement dit, les PME qui ont des capacités spécifiques peuvent « jouer selon les règles du jeu » et accéder aux ressources collectives, mais celles qui sont plus démunies ne sont même pas en mesure de participer à ces réseaux et d'accéder à ces ressources collectives. Certaines de ces PME sont en difficulté et sont souvent incapables de prendre le virage vers le I4.0.

Une autre dynamique réduit la capacité des entreprises à expérimenter : elles sont fortement incitées à suivre les règles du jeu établies par les organismes intermédiaires pour faire face aux enjeux liés au développement

des compétences et de l'I4.0. Ces règles cherchent à réduire l'incertitude et à stabiliser les comportements et les relations entre les acteurs. Les entreprises sont censées respecter les règles du jeu qui définissent les meilleures pratiques à adopter pour entamer le virage vers l'I4.0. Par exemple, le programme MACH FAB 4.0 fixe des règles précises pour la mise en œuvre de l'I4.0, et prévoit l'audit des entreprises pour s'assurer qu'elles respectent les directives. Si les entreprises s'écartent de ces règles, elles risquent d'être exclues de la participation à ces programmes ou de ne plus avoir accès aux ressources qu'ils fournissent. Les gestionnaires dans les PME ont souvent l'impression qu'ils n'ont pas la permission d'expérimenter.

Par conséquent, ces règles ne favorisent pas l'expérimentation à l'extérieur des cadres établis par ces programmes et elles réduisent la capacité des acteurs à remettre en question les pratiques et discours dominants liés aux compétences futures et à l'I4.0.

Paradoxalement donc, une configuration régionale à forte densité institutionnelle, riche en ressources collectives, favorise l'expérimentation institutionnelle (à l'échelle de la grappe) tout en limitant la capacité des acteurs à se livrer à de l'expérimentation organisationnelle (à l'échelle de l'entreprise). Dans un tel contexte, un des défis pour les acteurs et organismes intermédiaires est d'éviter de se trouver enfermés dans un sentier de dépendance. À ce titre, un défi crucial qui se pose pour satisfaire aux exigences de la mise en œuvre de l'I4.0 et du développement des compétences futures consiste à trouver le bon équilibre entre l'expérimentation organisationnelle et institutionnelle.

## Processus d'expérimentation et développement des ressources collectives

Dans quelle mesure les configurations régionales à faible ou à forte densité institutionnelle créent-elles les conditions pour que les acteurs puissent expérimenter et composer avec les défis posés par l'I4.0 et les compétences futures? Nos résultats suggèrent que les deux configurations créent les conditions nécessaires à l'expérimentation, mais qu'elles peuvent en même temps enfermer les entreprises et les organismes intermédiaires dans des sentiers de dépendance, limitant de ce fait l'expérimentation.

Dans la grappe de Toronto, la CIR se caractérise par sa faible densité institutionnelle, et la coordination à l'échelle de la grappe est minimale, ce qui restreint l'expérimentation institutionnelle, mais favorise l'expérimentation organisationnelle. Les entreprises, en particulier, ont davantage de latitude pour mener des expérimentations, mais, pour ce faire, ces dernières doivent compter sur des ressources et des capacités qu'elles développent par elles-mêmes. Dans un tel contexte, les grandes entreprises sont en position plus avantageuse et elles sont capables d'expérimenter plus largement en capturant les ressources collectives (en particulier celles produites par les organismes d'enseignement et de recherche) pour relever les défis posés par l'I4.0 et les compétences futures. Par le biais de l'expérimentation, les filiales de multinationales élaborent des stratégies au niveau organisationnel afin de renforcer les capacités des entreprises dans leurs propres chaînes d'approvisionnement. Par ailleurs, les PME ne sont pas dans la même position et peinent à accéder à ces ressources, car prises individuellement, elles ne disposent pas



*Les **PME** ont également accès à diverses ressources, et elles sont en mesure **d'agir collectivement, d'échanger de l'information et de collaborer entre elles** dans le cadre de divers projets.*

en propre des ressources et des capacités requises pour ce faire. Certaines PME qui ont des gestionnaires habiles ayant développé des réseaux personnels et un capital social forts sont en mesure d'accéder à ces ressources et de les utiliser. Cela leur permet d'expérimenter de nouvelles façons de relever les défis posés par l'I4.0, mais il s'agit toutefois de cas exceptionnels.

En outre, au sein de la CIR, les PME ne peuvent compter sur aucun mécanisme collectif pour exprimer leurs besoins et leurs préoccupations. Au fil des ans, ces entreprises n'ont pu développer d'action collective sous quelque forme que ce soit, ni aucun modèle durable de collaboration entre elles. Cette situation a limité la capacité des PME de développer des réseaux horizontaux dans l'industrie, minant ainsi leur capacité à accéder aux ressources collectives, à façonner les processus de prise de décision dans la grappe et à participer à la définition de l'agenda en rapport avec l'I4.0 et les compétences futures. Par conséquent, la dynamique dominante au sein de la CIR favorise les relations bilatérales plutôt que les relations multilatérales ainsi que les relations orientées vers la compétition plutôt que la collaboration. Cependant, les organisations intermédiaires ont développé un certain nombre d'initiatives



qui favorisent le réseautage et encouragent les entreprises à travailler davantage en collaboration avec d'autres acteurs de la grappe. Un certain nombre de ressources collectives liées au développement des compétences (OAC, OMLC) ou des innovations technologiques (groupes de recherche universitaires, DAIR, CARIC, NGen) émergent et pourraient aider les entreprises dans leurs projets de transition vers l'4.0. Le rôle des divers organismes intermédiaires (en particulier l'OAC, les collèges et les universités) est important dans le passage d'une approche centrée sur l'entreprise vers celle centrée sur les réseaux.

La grappe de Montréal repose sur une CIR différente. Au fil du temps, les acteurs ont construit une configuration à forte densité institutionnelle qui offre de nombreuses ressources collectives aux différentes parties prenantes, et ce, en matière de formation, de connaissances et de ressources matérielles (p. ex., du financement). Ces parties prenantes peuvent puiser à même un environnement riche en ressources collectives pour faire face aux défis posés par la mise en œuvre de l'4.0 et des compétences futures. Cette CIR crée ainsi les conditions pour que les acteurs et les organismes intermédiaires coordonnent leurs actions et expérimentent avec de nouvelles institutions à l'échelle de la grappe.

La CIR de Montréal fournit de nombreuses ressources collectives aux grandes entreprises, aux PME, aux syndicats, aux organismes

de recherche et aux établissements d'enseignement, tout en favorisant les collaborations entre ces diverses organisations. La CIR crée également des espaces qui permettent aux syndicats et aux PME d'exprimer leurs préoccupations à l'échelle régionale, ce qui leur donne des occasions d'influencer les processus décisionnels, le contenu de l'agenda et l'affectation des ressources. Au fil des ans, les PME ont également développé une capacité à agir et à collaborer entre elles. Il en résulte une dynamique au sein de la CIR qui encourage les connexions multilatérales et les relations à la fois axées sur la compétition et la collaboration. L'inconvénient, cependant, est que l'expérimentation institutionnelle dans cette CIR semble restreindre certaines formes d'expérimentation organisationnelle.

En effet, afin d'accéder à cet environnement riche en ressources, les acteurs et les organismes doivent respecter les règles du jeu, notamment les meilleures pratiques, les normes et les cadres cognitifs établis par la CIR. Cet environnement permet ainsi aux entreprises, en particulier aux PME, de faire face aux défis posés par l'4.0, mais il limite également leur capacité à expérimenter à l'interne et à se lancer dans des projets d'innovation qui « sortent davantage des sentiers battus ». Il s'agit du compromis que les PME doivent accepter pour accéder aux ressources collectives produites par la CIR et faire partie de la communauté de l'aérospatiale.







# Conclusion



Au cours des dernières années, des organismes intermédiaires au Canada (p. ex., Aéro Montréal, l'OAC et des syndicats) ont publié des rapports qui pressent les gouvernements provinciaux et fédéral de mettre au point une stratégie ciblée, globale et d'envergure pour l'industrie aérospatiale canadienne. Ces rapports soulignent, à juste titre, l'importance : 1) d'attirer de nouveaux investissements; 2) de soutenir le développement d'avions plus écologiques; 3) d'investir dans des technologies innovantes; 4) de renforcer les capacités des PME et 5) de favoriser la création de bons emplois et d'une main-d'œuvre hautement qualifiée. Dans le contexte de la pandémie de COVID-19, ces mêmes organismes intermédiaires ont exhorté le gouvernement fédéral à soutenir les efforts pour assurer la survie et le rétablissement de l'industrie. Cela implique une aide financière immédiate ainsi qu'un agenda à plus long terme pour aider l'industrie à aller de l'avant avec des innovations de produits et de procédés, de sorte qu'elle puisse rester compétitive à l'échelle internationale.

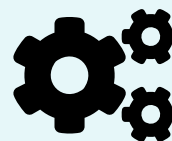
Ce rapport sur l'I4.0 et les compétences futures cherche à contribuer à ces réflexions de quatre manières distinctes.

En premier lieu, à l'échelle internationale, l'aérospatiale n'est pas à une industrie à l'avant-garde de l'adoption de l'I4.0, tandis qu'à l'échelle nationale, l'adoption des technologies liées au I4.0 est plus répandue dans l'industrie

aérospatiale canadienne que dans la moyenne du secteur manufacturier. Il existe toutefois de grandes différences entre les entreprises, certaines exploitant une usine entièrement virtuelle alors que d'autres n'ont pas encore entamé le virage. Plusieurs facteurs expliquent cette adoption inégale de l'I4.0. Un défi commun que doivent relever les entreprises de l'industrie aérospatiale du Canada est la codification et la standardisation des tâches nécessaires à la mise en œuvre de l'I4.0, et ce, dans une industrie qui compte traditionnellement sur les connaissances et les compétences tacites. Bien que l'adoption de l'I4.0 n'en soit qu'à ses débuts et que son impact sur les compétences et le travail reste une question ouverte, il existe suffisamment d'indices pour suggérer qu'elle favorise la polarisation de l'emploi, en créant des emplois très attrayants, mais également de nombreux emplois moins qualifiés. Une telle polarisation n'est pas propre à l'industrie aérospatiale et semble plutôt être entraînée par les technologies elles-mêmes (Dixon, 2020). Cependant, la présence de stratégies variées au sein des entreprises canadiennes indique que les acteurs disposent d'une marge dans la mise en œuvre de l'I4.0. La diffusion généralisée de l'I4.0 dans l'industrie requerra un financement ciblé par les gouvernements, de même que le développement proactif de programmes pour soutenir les entreprises dans cette transition (p. ex. le programme MACH FAB 4.0 lancé par Aéro Montréal).

En deuxième lieu, les entreprises ne sont pas en mesure, à elles seules, de relever ces défis. Elles n'ont pas la capacité de créer les conditions requises pour réunir toutes les parties prenantes dans des partenariats collaboratifs, ni même pour les encourager à agir de concert. Pour établir ces conditions, des configurations régionales à forte densité doivent être développées de manière à favoriser l'action collective chez les diverses parties prenantes et la production de ressources collectives.

Les deux grappes créent des espaces pour la collaboration et produisent des ressources collectives, mais de manière inégale. À Toronto, il existe peu de ressources à l'échelle de la grappe pour soutenir les entreprises dans l'I4.0. Toutefois, il y a de nombreuses initiatives et expérimentations menées par des entreprises, principalement avec des collègues et des universités, pour créer des ressources répondant aux besoins spécifiques d'une entreprise. Ces dernières années, les organismes intermédiaires ont développé des initiatives visant à encourager le réseautage et la collaboration entre les diverses parties prenantes. Néanmoins, les grandes entreprises sont plus à même de développer ces initiatives et d'accéder à ces ressources que les PME. Il s'ensuit qu'en l'absence de ressources collectives, les PME, qui ont généralement moins de ressources internes que les grandes entreprises, ont de la difficulté à composer avec les défis que pose l'adoption de l'I4.0. À Montréal, à l'échelle de la grappe, de nombreuses ressources collectives sont offertes par le biais d'organismes intermédiaires en termes de formation, de connaissances et de ressources matérielles. Ces ressources collectives se substituent au manque de ressources internes des PME par rapport à celles dont disposent les grandes entreprises.



***Les politiques futures devront être adaptées aux besoins des différentes grappes aérospatiales et aux particularités des CIR. Cependant, certaines ressources collectives essentielles doivent être mises à la disposition de toutes les parties prenantes au sein de l'industrie aérospatiale canadienne.***

En troisième lieu, étant donné les héritages institutionnels des deux grappes, une stratégie unique n'est ni souhaitable ni réalisable. Les politiques futures devront être adaptées aux besoins des différentes grappes aérospatiales et aux particularités des CIR. Cependant, certaines ressources collectives essentielles doivent être mises à la disposition de toutes les parties prenantes au sein de l'industrie aérospatiale canadienne. Pour ne citer qu'un exemple, de l'information intégrée sur le marché du travail devrait être disponible et accessible à tous, mais ce n'est actuellement pas le cas. Au Québec, contrairement à l'Ontario, cette information élémentaire représente une ressource collective produite grâce à la participation soutenue de presque toutes les entreprises (le taux de participation à l'enquête du CAMAQ, d'année en année, est de 90 %).

En quatrième lieu, pour produire des ressources collectives, les grappes aérospatiales doivent mettre en place des espaces de délibération et des mécanismes qui favorisent l'action collective et la collaboration. Nous nous faisons ici écho aux recommandations appelant les

différents acteurs à développer des CIR denses et agiles (OCDE, 2020), en mesure de renforcer la capacité d’agir des acteurs ayant moins de pouvoir (tels que les PME, les syndicats et les travailleurs). Les organismes intermédiaires ont un rôle crucial à jouer à cet égard car ils peuvent aider les acteurs ayant moins de pouvoir non seulement à accéder aux ressources, mais aussi à participer à la définition de l’agenda de l’industrie dans leurs régions.

Comparativement à Toronto, Montréal crée plus d’espaces et plus d’opportunités pour favoriser l’action collective et la collaboration entre les différentes parties prenantes, notamment pour les acteurs ayant moins de pouvoir. Toutefois, au sein de chaque grappe, il y a encore beaucoup de place à l’amélioration. Tant en Ontario qu’au Québec, il n’existe pas de mécanisme particulier, dans les entreprises, pour assurer la participation des travailleurs et des syndicats à la conception ainsi qu’à la mise en œuvre de l’I4.0 et des compétences futures. Ceux-ci ne peuvent donc intervenir que plus tard dans le processus, par l’intermédiaire de la négociation collective ou de politiques émises par le département des ressources humaines de l’entreprise. En ce qui concerne la participation des travailleurs et des syndicats à la mise en œuvre de I4.0, le Canada accuse un retard sur les pays les plus avancés du monde, comme l’Allemagne (voir par exemple Bosch et Schmitz-Kießler, 2020).

La création d’espaces et de mécanismes de délibération doit également aller au-delà de chaque grappe, afin de favoriser la collaboration inter-grappes. Si le Canada veut être compétitif à l’échelle internationale dans le cadre du développement de projets spéciaux comme l’aviation verte, il devra mobiliser toute son expertise disponible. Des programmes qui favorisent la collaboration entre grappes, tels que le CARIC et GARDN, ont été ou vont être définancés. Pourtant, dans le contexte actuel

de l’industrie, de tels programmes semblent représenter un moyen précieux d’améliorer la compétitivité du Canada. Cela ne laisse que le CRIAQ comme organisme intermédiaire permanent qui tente de créer des liens entre les grappes de l’industrie aérospatiale du Canada.

Il est maintenant l’heure de décider ce que sera l’avenir de l’industrie aérospatiale canadienne, et à quoi ressembleront le travail et les compétences à l’ère de l’I4.0. L’industrie aérospatiale est déjà aux prises avec un déficit de compétences et une main-d’œuvre vieillissante. Il est donc primordial de réfléchir à la façon de mettre en œuvre l’I4.0 de manière optimale, afin de non seulement permettre des gains de productivité, mais aussi de rehausser la qualité du travail.

L’industrie doit être capable d’attirer la prochaine génération de travailleurs. Pour attirer des jeunes dans le secteur, l’aérospatiale canadienne doit s’assurer prioritairement que l’I4.0 crée de bons emplois qui permettent aux travailleurs d’avoir de l’autonomie et de s’exprimer tout en exerçant leur créativité. Dans l’I4.0, il est possible de réaliser des gains de productivité et de réduire les coûts tout en créant également de bons emplois et du travail de meilleure qualité. Toutefois, cela requerra des entreprises qu’elles cherchent activement à obtenir ce résultat en passant par un processus de mise en œuvre qui laisse place à la participation des personnes directement touchées : les travailleurs.

Il s’agit d’une période difficile pour l’industrie dans son ensemble, tant pour les entrepreneurs que pour les travailleurs et les gestionnaires. Toutefois, cette période de crise a également créé des occasions pour le gouvernement canadien de réinvestir et, pour toutes les parties prenantes, de réinventer l’avenir de cette industrie essentielle à l’économie canadienne.

# Annexes

## Annexe A :

### Tableaux des organismes intermédiaires dans chaque grappe

**TABLEAU 1**

Principaux organismes de médiation dans la grappe aérospatiale de Montréal

Organisme	Personnel	Mission	Mandat et activités	Gouvernance
<b>Aéro Montréal</b> (2006 – )	16 personnes	Groupe de réflexion stratégique, joue un rôle de coordination au niveau de la grappe.	Les activités sont structurées autour de la compétitivité des grappes par le biais du développement de la chaîne d'approvisionnement, de l'innovation et des ressources humaines	Conseil d'administration : grandes entreprises et PME, syndicats, centres d'enseignement et de recherche
<b>Comité sectoriel de la main-d'œuvre en aérospatiale (CAMAQ)</b> (1983 – )	8 personnes	Promouvoir les compétences de la main-d'œuvre dans l'industrie aérospatiale.	Coordination, planification et élaboration de stratégies pour le marché du travail dans l'aérospatiale	Conseil d'administration : principalement des entreprises et des syndicats représentés de manière équivalente
<b>Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale au Québec (CRIAQ)</b> (2002 – )	12 personnes	Développer et stimuler la collaboration entre les spécialistes industriels et les chercheurs sur des projets de recherche aérospatiale préconcurrentiels.	Encourager, soutenir et financer des projets de R et D collaboratifs	Conseil d'administration : représentants d'universités et de grandes entreprises



**TABLEAU 2****Principaux organismes intermédiaires dans la grappe aérospatiale de Toronto**

<b>Organisme</b>	<b>Personnel</b>	<b>Mission</b>	<b>Mandat et activités</b>	<b>Gouvernance</b>
<b>Ontario Aerospace Council (OAC)</b>  (1994 –)	4 personnes	L'association professionnelle provinciale de l'industrie; favoriser les relations	Participation à des événements commerciaux, des séminaires annuels clés et des événements de réseautage et des programmes ad hoc en fonction des besoins de l'entreprise	Conseil d'administration : gestionnaires de grandes et de petites entreprises. Certains membres de collèges ou universités dans les groupes directeurs
<b>Downsview Aerospace Innovation and Research (DAIR)</b>  (2012 –)	1 personne à plein temps, 1 personne basée dans un collège	Consortium conçu pour accroître la recherche et le développement collaboratifs	Favoriser la collaboration et fournir une infrastructure physique pour les événements, les activités de R et D, les ateliers et les séminaires	Conseil d'administration : en cours de mise à jour (entrevue). Le consortium est composé de : 3 universités et 1 collège ainsi que 8 grandes entreprises
<b>Consortium en aérospatiale pour la recherche et l'innovation au Canada (CARIC)</b>  (2014 – 2020)	1 personne	Financer des projets de R et D collaboratifs	Encourager, soutenir (par un processus de demande) et financer des projets R et D collaboratifs	Conseil d'administration : la branche de l'Ontario est gérée au sein de l'OAC et partage donc la même structure de gouvernance
<b>Ontario Manufacturing Learning Consortium (OMLC)</b>  (2013 –)	2 personnes	Offrir des programmes de formation pour des professions spécifiques à l'industrie	Recrutement, sélection et formation pour des professions spécifiques à l'industrie (p.ex.: machinistes/monteurs d'éléments de structure)	Conseil d'administration : l'OAC et d'autres associations de fabrication
<b>Fabrication de prochaine génération Canada (NGen)</b>  (2018 – )	Environ 4 personnes	Financer des projets de R et D collaboratifs d'adoption de technologies ou d'amélioration des compétences et qui sont liés à la fabrication de pointe	Bailleur de fonds; semble également offrir certaines formes de services de jumelage pour les nouveaux projets d'innovation	Conseil d'administration : gestionnaires de grandes et de petites entreprises, OAC

## Annexe B : Tableaux de répartition des personnes interrogées

**TABLEAU 3**

Répartition des personnes interrogées : Montréal

Niveau	Groupe de personnes interrogées	Nombre d'entrevues (2010 - 2014)	Nombre d'entrevues (2015 - 2019)
Régional et/ou grappe	Acteurs institutionnels : centres de recherche, association industrielle, centres de formation, représentants gouvernementaux	10	20
	Représentants syndicaux sectoriels/provinciaux	4	4
Entreprise	Gestionnaires d'entreprise dans des PME et des grandes entreprises : directeurs généraux, gestionnaires des ressources humaines, directeurs des opérations	18	35
	Représentants syndicaux en milieu de travail	10	5
<b>Total</b>		<b>42</b>	<b>64</b>

Remarque : De plus, quatre entrevues de groupe ont été réalisées avec 32 délégués syndicaux d'atelier.

**TABLEAU 4**

Répartition des personnes interrogées : Toronto

Niveau	Groupes de personnes interrogées	Nombre d'entrevues (2018 - 2020)
Régional et/ou grappe	Acteurs institutionnels : centres de recherche, association industrielle, centres de formation, représentants gouvernementaux	14
	Représentants syndicaux sectoriels/provinciaux	2
Entreprise	Gestionnaires d'entreprise dans des PME et des grandes entreprises : directeurs généraux, gestionnaires des ressources humaines, directeurs des opérations	16
	Représentants syndicaux en milieu de travail	1
<b>Total</b>		<b>33</b>

## Annexe C : Liste des acteurs dans chaque grappe

Il convient de noter qu'il existe un certain nombre d'organismes intermédiaires importants de l'industrie qui opèrent au niveau fédéral, comme l'association professionnelle du secteur, l'Association des industries aérospatiales du Canada (AIAC), ainsi qu'un certain nombre d'autres associations qui représentent des segments de l'industrie (p. ex., le Conseil canadien de l'aviation et de l'aérospatiale [CCAA]). Ces organismes n'ont pas été inclus ci-dessous à moins qu'ils ne soient situés à l'intérieur d'une des grappes. Aucune des listes d'acteurs n'est considérée comme exhaustive. Nous espérons plutôt fournir un aperçu de certaines des parties prenantes essentielles dans chaque grappe et la CIR, ainsi que de la CIR de soutien, de manière à fournir des ressources aux lecteurs afin qu'ils puissent vérifier les ressources de l'industrie les plus à jour.

### La grappe de Montréal

Voici la liste non exhaustive des acteurs de la grappe de Montréal, avec des références et des liens vers des sites Web pour plus d'information.

<b>Organismes intermédiaires</b>  (voir le tableau 1 à l'annexe A)	Aéro Montréal : <a href="https://www.aeromontreal.ca/accueil.html">https://www.aeromontreal.ca/accueil.html</a>
	Comité sectoriel de la main-d'œuvre en aérospatiale (CAMAQ) : <a href="https://camaq.org/">https://camaq.org/</a>
	Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale au Québec (CRIAQ) : <a href="https://criaq.aero/">https://criaq.aero/</a>
<b>Autres organismes sectoriels basés dans la grappe</b>	Groupement aéronautique de recherche et développement en environnement (GARDN) : <a href="https://gardn.org/fr/">https://gardn.org/fr/</a>
	Projet mobilisateur de l'avion plus écologique (SA <sup>2</sup> GE) : <a href="https://www.sa2ge.org/">https://www.sa2ge.org/</a>
	Projet stratégique Aéro 21 : <a href="https://www.aero21.org/">https://www.aero21.org/</a>
	Association du transport aérien international (IATA) : <a href="https://www.iata.org/">https://www.iata.org/</a>
	Société internationale de télécommunications aéronautiques (SITA) : <a href="https://www.sita.aero/">https://www.sita.aero/</a>
<b>Entreprises</b>	Conseil international de l'aviation d'affaires (IBAC) : <a href="https://ibac.org/">https://ibac.org/</a>
	Un bon nombre d'entreprises qui opèrent dans la grappe de Montréal sont répertoriées aux endroits suivants :
	Aéro Montréal. (2020). Recherche d'entreprise. Montréal : Aéro Montréal. Extrait de <a href="https://www.aeromontreal.ca/repertoire-des-entreprises.html">https://www.aeromontreal.ca/repertoire-des-entreprises.html</a>
Aéro Montréal. (2020). Industrie. Montréal : Aéro Montréal. Extrait de <a href="https://www.aeroMontreal.ca/industrie.html">https://www.aeroMontreal.ca/industrie.html</a>	
MEIQ. (2020). Présentation de l'industrie de l'aérospatiale. Ville de Québec : Ministère de l'économie et de l'Innovation/Gouvernement du Québec. Extrait de : <a href="https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/secteurs/aerospatiale/presentation-de-lindustrie-de-laerospatiale/">https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/secteurs/aerospatiale/presentation-de-lindustrie-de-laerospatiale/</a>	

<b>Acteurs dans la CIR</b>	<p>Liste complète des programmes de compétences et de formation pertinents pour l'industrie aérospatiale à Montréal disponible sur :</p> <p>CAMAQ. (2020). Cartographie de la formation en aérospatiale au Québec. Montréal : CAMAQ. Extrait de <a href="https://camaq.github.io/camaqMap/">https://camaq.github.io/camaqMap/</a></p> <p>MEIQ. (2020). La formation en aérospatiale. Ville de Québec : Ministère de l'économie et de l'Innovation/Government du Québec. Extrait de <a href="https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/secteurs/aerospatiale/financement-et-formation/la-formation-en-aerospatiale/">https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/secteurs/aerospatiale/financement-et-formation/la-formation-en-aerospatiale/</a></p>
<b>École secondaire</b>	<p>École des métiers de l'aérospatiale (ÉMAM) : <a href="https://ecole-metiers-aerospatiale.csdm.ca/">https://ecole-metiers-aerospatiale.csdm.ca/</a></p>
<b>CÉGEP</b>	<p>École nationale d'aérotechnique (ÉNA) <a href="https://www.cegepmontpetit.ca/ecole-nationale-d-aerotechnique">https://www.cegepmontpetit.ca/ecole-nationale-d-aerotechnique</a></p>
<b>Universités</b>	<p>Université Concordia/Institut de conception et d'innovation aérospatiales de Concordia (CIADI) : <a href="https://www.concordia.ca/fr/nouvelle-generation/aerospatiale.html">https://www.concordia.ca/fr/nouvelle-generation/aerospatiale.html</a> <a href="https://www.concordia.ca/ginacody/ciadi.html">https://www.concordia.ca/ginacody/ciadi.html</a></p> <p>McGill/Institut de génie aérospatial de McGill (MIAE) : <a href="https://www.mcgill.ca/fr">https://www.mcgill.ca/fr</a> <a href="https://www.mcgill.ca/miae/">https://www.mcgill.ca/miae/</a></p> <p>École de technologie supérieure (ÉTS)/Institut de conception et d'innovation en aérospatiale (ICIA) : <a href="https://aeroets.etsmtl.ca/pages/fr/home/">https://aeroets.etsmtl.ca/pages/fr/home/</a> <a href="https://aeroets.etsmtl.ca/pages/fr/icia/presentation.php">https://aeroets.etsmtl.ca/pages/fr/icia/presentation.php</a></p> <p>École Polytechnique de Montréal/Institut d'innovation et de conception en aérospatiale de Polytechnique (IICAP) : <a href="https://www.polymtl.ca/">https://www.polymtl.ca/</a> <a href="https://www.polymtl.ca/iicap/">https://www.polymtl.ca/iicap/</a></p>
<b>Centres de recherche</b>	<p>Centre de développement des composites du Québec (CDCQ) : <a href="https://www.cdcq.qc.ca/">https://www.cdcq.qc.ca/</a></p> <p>Centre de technologies en aérospatiale (CTA) <a href="https://www.cegepmontpetit.ca/cta">https://www.cegepmontpetit.ca/cta</a></p> <p>Centre des technologies en fabrication aérospatiale (CTFA) – Aerospace Manufacturing Technologies Centre (AMTC) : <a href="https://nrc.canada.ca/fr/recherche-developpement/recherche-collaboration/centres-recherche/centre-recherche-aerospatiale">https://nrc.canada.ca/fr/recherche-developpement/recherche-collaboration/centres-recherche/centre-recherche-aerospatiale</a></p>
<b>Gouvernements provincial et local</b>	<p>Le ministère de l'économie et de l'Innovation du Québec est responsable de la Stratégie aérospatiale du Québec à l'échelle de la province.</p> <p>Les autres organismes gouvernementaux au niveau provincial et municipal ont des rôles complémentaires.</p>
<b>Organismes de financement supplémentaires</b>	<p>Le Québec dispose de fonds d'investissement pour les travailleurs, comme le Fonds de solidarité FTQ, qui soutiennent directement les entreprises de l'industrie aérospatiale : <a href="https://www.fondsftq.com/fr-ca/financement/fonds-siege-social/aerospatiale.aspx">https://www.fondsftq.com/fr-ca/financement/fonds-siege-social/aerospatiale.aspx</a></p>



## La grappe de Toronto

Voici une liste non exhaustive des acteurs de la grappe de Toronto, avec des références et des liens vers des sites Web pour plus d'information.

<b>Organismes intermédiaires</b>  <b>(voir le tableau 2 à l'annexe A).</b>	Conseil de l'aérospatiale de l'Ontario (OAC) – Association professionnelle provinciale de l'industrie : <a href="https://theoac.ca/">https://theoac.ca/</a>
	Downsview Aerospace Innovation and Research (DAIR) : <a href="https://www.dairhub.com/">https://www.dairhub.com/</a>
	Consortium en aérospatiale pour la recherche et l'innovation au Canada (CARIC) (n'est plus financé) : <a href="https://caric.aero/">https://caric.aero/</a>
	Fabrication de prochaine génération Canada (NGen) – la supergrappe de fabrication de pointe : <a href="https://www.ngen.ca/fr/">https://www.ngen.ca/fr/</a>
	Ontario Manufacturing Learning Consortium (OMLC) : <a href="https://www.omlc.ca/">https://www.omlc.ca/</a>
<b>Entreprises</b>	Women in Aerospace Canada (WIAC) : <a href="https://wia-canada.org/">https://wia-canada.org/</a>
	Une grande proportion des entreprises qui exercent des activités dans la grappe de Toronto peuvent être identifiées dans un rapport de consultation de l'industrie ontarienne et dans la documentation suivante de l'OAC :
	Rapports commerciaux mondiaux. (2017). Ontario Aerospace 2017. Toronto : Rapports commerciaux mondiaux
	OAC. (2019a). Ontario Aerospace Research & Technology 2019 Source Book. Extrait de <a href="https://theoac.ca/page/2019SourceBook">https://theoac.ca/page/2019SourceBook</a>
<b>Acteurs dans la CIR</b>	OAC. (2019 b). Répertoire des capacités de l'Ontario en aérospatiale, espace, défense, UAV et MRO 2019. Extrait de : <a href="https://theoac.ca/page/2019Directory">https://theoac.ca/page/2019Directory</a>
<b>Collèges</b>	Collèges de la grappe de Toronto recherchés par l'intermédiaire de l'OAC. (2019). Secteur de l'aérospatiale de l'Ontario à Toronto : OAC. Extrait de : <a href="https://theoac.ca/page/ONAerospaceSector">https://theoac.ca/page/ONAerospaceSector</a>
	Centennial College : <a href="https://www.centennialcollege.ca/programs-courses/full-time/aerospace-manufacturing-engineering-technology/">https://www.centennialcollege.ca/programs-courses/full-time/aerospace-manufacturing-engineering-technology/</a>
	Mohawk College : <a href="https://www.mohawkcollege.ca/">https://www.mohawkcollege.ca/</a>
	Conestoga College : <a href="https://www.conestogac.on.ca/">https://www.conestogac.on.ca/</a>
	Georgian College : <a href="https://www.georgiancollege.ca/">https://www.georgiancollege.ca/</a>
	Canadore College : <a href="https://www.canadorecollege.ca/">https://www.canadorecollege.ca/</a>
	Humber College : <a href="https://humber.ca/">https://humber.ca/</a>
Seneca College : <a href="https://www.senecacollege.ca/home.html">https://www.senecacollege.ca/home.html</a>	

<b>Universités</b>	Universités de la grappe de Toronto recherchées par l'intermédiaire de l'OAC. (2019). Secteur aérospatial de l'Ontario. Extrait de <a href="https://theoac.ca/page/ONAerospaceSector">https://theoac.ca/page/ONAerospaceSector</a>
	Université Ryerson/ Ryerson Institute for Aerospace Design and Innovation (RIADI) : <a href="https://www.ryerson.ca/">https://www.ryerson.ca/</a> <a href="https://www.ryerson.ca/riadi/">https://www.ryerson.ca/riadi/</a>
	Université York : <a href="https://futurestudents.yorku.ca/program/space-engineering">https://futurestudents.yorku.ca/program/space-engineering</a>
	Université de Toronto/ University of Toronto Institute of Aerospace Studies (UTIAS) : <a href="https://www.utoronto.ca/">https://www.utoronto.ca/</a> <a href="https://www.utias.utoronto.ca/">https://www.utias.utoronto.ca/</a>
	Université de Waterloo : <a href="https://uwaterloo.ca/">https://uwaterloo.ca/</a>
	Université Mc Master / McMaster Manufacturing Research Institute (MMRI) : <a href="https://www.mcmaster.ca/">https://www.mcmaster.ca/</a> <a href="https://www.eng.mcmaster.ca/mcmaster-manufacturing-research-institute-mmri">https://www.eng.mcmaster.ca/mcmaster-manufacturing-research-institute-mmri</a>
<b>Gouvernements provincial et local</b>	<p>Divers représentants des gouvernements provinciaux et municipaux (p. ex., Mississauga, Barry, Cambridge, Hamilton, etc.) peuvent parfois collaborer ou soutenir les acteurs du secteur aérospatial.</p> <p>De l'information sur ces représentants se trouve sur les sites Web des différents gouvernements.</p>

## Annexe D : Pénurie de main-d'œuvre au Québec

**TABLEAU 5**

Professions jugées difficiles à recruter dans l'industrie aérospatiale québécoise

Professions	Nombre de travailleurs nécessaires, 2017 - 2018	Nombre de travailleurs nécessaires (nombre d'entreprises), 2018 - 2020	Nombre de travailleurs nécessaires (nombre d'entreprises), 2020 - 2021
Machinistes et programmeurs (CNC et conventionnels)	217	188 (41)	217 (43)
Monteurs	194	341 (11)	58 (12)
Techniciens en génie électrique/ électronique/avionique	62	113 (5)	104 (12)
Techniciens d'entretien d'aéronefs	54	289 (10)	199 (12)
Agents de processus	67	64 (11)	48 (7)
Inspecteurs et agents de contrôle de la qualité	100	105 (18)	61 (11)
Ingénieurs	s.o.	234 (33)	107 (16)
Spécialistes en génie (aéronautique, mécanique, logiciels, etc.)	155	s.o.	s.o.
Concepteurs/Développeurs de logiciels	64	s.o.	s.o.
Informatique académique (ingénieur logiciel/développeur IA)	s.o.	s.o.	73 (11)
Programmation informatique	s.o.	s.o.	54 (15)

Source : Données recueillies par les auteurs auprès du CAMAQ (2018, 2019, 2020)

# Références

- AeroDynamic Advisory et Teal Group Corporation. (2018). *The global aerospace industry: Size & country rankings*. AeroDynamic Advisory. [https://aerodynamicadvisory.com/wp-content/uploads/2018/07/AeroDynamic-Teal\\_Global-Aerospace-Industry\\_16July2018.pdf](https://aerodynamicadvisory.com/wp-content/uploads/2018/07/AeroDynamic-Teal_Global-Aerospace-Industry_16July2018.pdf)
- Aéro Montréal. (2018). *Guide des compétences 4.0 en aérospatiale*. Aéro Montréal. [https://www.aeromontreal.ca/download/fca8add896b1c9/Guide+des+comp%C3%A9tences+4.0+en+a%C3%A9rospatiale\\_FINAL.compressed.pdf](https://www.aeromontreal.ca/download/fca8add896b1c9/Guide+des+comp%C3%A9tences+4.0+en+a%C3%A9rospatiale_FINAL.compressed.pdf)
- Aéro Montréal. (2019). *La mobilité durable au cœur de l'innovation aérospatiale*. Aéro Montréal. [https://www.aeromontreal.ca/download/fca8add9e359d7/Rapport+d%27activite%CC%81+2019\\_FR.pdf](https://www.aeromontreal.ca/download/fca8add9e359d7/Rapport+d%27activite%CC%81+2019_FR.pdf)
- Aéro Montréal. (2020). *MACH 2020*. Aéro Montréal. <https://www.aeromontreal.ca/mach-initiative.html>
- Agence du revenu du Canada. (2020). *Recherche scientifique et développement expérimental – Programme d'encouragements fiscaux*. Gouvernement du Canada. <https://www.canada.ca/fr/agence-revenu/services/recherche-scientifique-developpement-experimental-programme-encouragements-fiscaux.html>
- Agrawal, A., Gans, J. et Goldfarb, A. (2018). *Prediction machines: the simple economics of artificial intelligence*. Harvard Business Press.
- Amin, A. et Thrift, N. (1994). Living in the global. Dans A. Amin et N. Thrift (dir.), *Globalization, Institutions and Regional Development in Europe*, pp. 1–22. Oxford University Press.
- Anselmo, J., Tusa, S., Flottau, J. et Norris, G. (2020, June 5). *Airbus, Boeing and Embraer: Flight paths forward* [Webinaire]. Aviation Week Network. <https://aviationweek.com/aerospace/webinar-airbus-boeing-embraer-flight-paths-forward>
- Association internationale des machinistes et des travailleurs de l'aérospatiale (AIMTA). (2019). *Cloué au sol: un rapport d'AIMTA sur une stratégie aérospatiale nationale*. [http://www.iamaw.ca/wp-content/uploads/2019/02/FR\\_IAM\\_Aerospace\\_Strategy\\_2018\\_low.pdf](http://www.iamaw.ca/wp-content/uploads/2019/02/FR_IAM_Aerospace_Strategy_2018_low.pdf)[http://www.iamaw.ca/wp-content/uploads/2019/02/6Feb2019\\_IAM\\_Aerospace\\_Strategy\\_2018.pdf](http://www.iamaw.ca/wp-content/uploads/2019/02/6Feb2019_IAM_Aerospace_Strategy_2018.pdf)
- Bélanger, J., Giles, A. et Murray, G. (2002). Towards a new production model: Potentialities, tensions and contradictions. Dans M. Gregor, J. Bélanger, A. Giles et P. Lapointe (dir.), *Work employment relations in the high performance workplace*, pp. 15–71. Continuum.
- Bosch, G. et Schmitz-Kießler, J. (2020). Shaping Industry 4.0 – an experimental approach developed by German trade unions. *Transfer: European Review of Labour and Research*, 26 (2), pp. 189-206. <https://doi.org/10.1177/1024258920918480>
- Braham, E. et Tobin, S. (2020). *Résoudre le casse-tête des compétences*, Centre des Compétences futures (CCF), Université Ryerson. <https://fsc-ccf.ca/wp-content/uploads/2020/01/R%C3%A9soudreLeCasse-T%C3%AAtedesComp%C3%A9tences-FPP-JAN2020-FR.pdf>
- Bramwell, A. et Wolfe, D. (2008). Universities and regional economic development: The entrepreneurial University of Waterloo. *Research Policy*, 37 (8), pp. 1175–1187. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.04.016>
- Bresnahan, T. F., Brynjolfsson, E., et Hitt, L. M. (2002). Information technology, workplace organization, and the demand for skilled labor: Firm-level evidence. *The Quarterly Journal of Economics*, 117 (1), pp. 339–376. <https://doi.org/10.1162/003355302753399526>
- Brown, L. (18 juillet 2014). Ontario's youth jobs strategy says it's helped 20 000 young people so far. *Toronto Star*. [https://www.thestar.com/news/queenspark/2014/07/18/ontarios\\_youth\\_jobs\\_strategy\\_claims\\_opportunities\\_for\\_20000\\_young\\_people.html](https://www.thestar.com/news/queenspark/2014/07/18/ontarios_youth_jobs_strategy_claims_opportunities_for_20000_young_people.html)
- Bruno, M. (2020). The days after. *AviationWeek and Space Technology* (Flight Paths Forward. Climbing out of COVID-19, July 27-Aug. 16, 2020). [https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-07/AWST\\_200727.pdf](https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-07/AWST_200727.pdf)
- Brynjolfsson, E. et McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company.
- Brynjolfsson, E., Rock, D. et Syverson, C. (2019). Artificial intelligence and the modern productivity paradox: A clash of expectations and statistics. Dans A. Agrawal, J. Gans et A. Goldfarb (dir.), *The economics of artificial intelligence: An agenda*, pp. 23–57. University of Chicago Press.



- Canada 2020. (7 juin 2012). *Taking flight: Making Ontario aerospace cluster a reality* [Conference Report]. Conférence de 2012 sur l'industrie aérospatiale de l'Ontario, tenue par Canada 2020, Program on Globalization and Regional Innovation Systems, à la Munk School of Global Affairs. Université de Toronto. <http://canada2020backup.see-design.com/wp-content/uploads/2012/06/Canada-2020-PROGRIS-Ontario-Aerospace-Cluster-Report.pdf>
- Canada Makes. (3 janvier 2017). *SONAMI receives \$7.3 million to promote advanced manufacturing and 3D printing*. Canada Makes. <http://canadamakes.ca/sonami-receives-7-3-million-promote-advanced-manufacturing-3d-printing/>
- Castonguay, A. (17 octobre 2017). *Bombardier : Le début de la fin? L'actualité*. <https://lactualite.com/lactualite-affaires/bombardier-le-debut-de-la-fin/>
- Centres d'excellence de l'Ontario (CEO). (2019). *À propos des OCE*. CEO. <https://www.oce-ontario.org/fr/%C3%A0-propos-des-oce>
- Chapman, A. et Wheatley, H. (2020). *Crisis support to aviation and the right to retrain*. New Economics Foundation. <https://neweconomics.org/uploads/files/aviation-workers.pdf>
- Charest, J. (2020, 29 juin). We're on the brink of losing Canada's aerospace industry. *The Hill Times*. <https://www.hilltimes.com/2020/06/29/254430/254430>
- Communauté métropolitaine de Montréal (CMM). (2005). *Cap sur le monde: Pour une région métropolitaine de Montréal compétitive. Plan de développement économique*. Récupéré de <https://web.archive.org/web/20121111023137/https://cmm.qc.ca/pde/documents/pde05.pdf>
- Comité sectoriel de main-d'œuvre en aérospatiale au Québec (CAMAQ). (2005). *Prévisions de main-d'œuvre. Industrie aérospatiale au Québec 2005-2007*. CAMAQ. <https://camaq.org/wp-content/uploads/2019/12/Rapport-Recensement-Fabrication-2005-2007.pdf>
- Comité sectoriel de main-d'œuvre en aérospatiale au Québec (CAMAQ). (2010). *Recensement des emplois au 1<sup>er</sup> janvier 2009 et 2010 et prévisions au 1<sup>er</sup> janvier 2011. Industrie aérospatiale au Québec*. CAMAQ. <https://camaq.org/wp-content/uploads/2019/12/Rapport-Recensement-Fabrication-2009-2011.pdf>
- Comité sectoriel de main-d'œuvre en aérospatiale au Québec (CAMAQ). (2013). *Rêver grand Voir loin*. CAMAQ. [https://camaq.org/wp-content/uploads/2019/12/Document\\_Camaq\\_30\\_ans.pdf](https://camaq.org/wp-content/uploads/2019/12/Document_Camaq_30_ans.pdf)
- Comité sectoriel de main-d'œuvre en aérospatiale au Québec (CAMAQ). (2015). *Recensement des emplois au 1<sup>er</sup> janvier 2014 et prévisions du nombre d'emplois au 1<sup>er</sup> janvier 2015 et au 1<sup>er</sup> janvier 2016. Industrie aérospatiale au Québec*. CAMAQ. <https://camaq.org/wp-content/uploads/2019/12/Rapport-Recensement-Fabrication-2014-2016.pdf>
- Comité sectoriel de main-d'œuvre en aérospatiale au Québec (CAMAQ). (2016). *Recensement des emplois au 1<sup>er</sup> janvier 2015 et prévisions du nombre d'emplois au 1<sup>er</sup> janvier 2016 et au 1<sup>er</sup> janvier 2017. Industrie aérospatiale au Québec*. CAMAQ. <https://camaq.org/wp-content/uploads/2019/12/Rapport-Recensement-Fabrication-2015-2017.pdf>
- Comité sectoriel de main-d'œuvre en aérospatiale au Québec (CAMAQ). (2018). *Recensement des emplois au 1<sup>er</sup> Janvier 2017 et prévisions du nombre d'emplois au 1<sup>er</sup> Janvier 2018 et au 1<sup>er</sup> Janvier 2019*. Industrie aérospatiale au Québec. CAMAQ. <https://camaq.org/wp-content/uploads/2019/12/Rapport-Recensement-Fabrication-2017-2019.pdf>
- Comité sectoriel de main-d'œuvre en aérospatiale au Québec (CAMAQ). (2019). *Recensement des emplois au 1<sup>er</sup> janvier 2018, et prévisions des emplois aux 1<sup>er</sup> janvier 2019 et 2020. Industrie de la fabrication aéronautique et spatiale au Québec*. CAMAQ. <https://camaq.org/wp-content/uploads/2020/01/Rapport-Recensement-Fabrication-2018-2020.pdf>
- Comité sectoriel de main-d'œuvre en aérospatiale au Québec (CAMAQ). (2020). *Recensement des emplois, au 1<sup>er</sup> janvier 2019, et prévisions des emplois aux 1<sup>er</sup> janvier 2020 et 2021. Industrie de la fabrication aéronautique et spatiale au Québec*. CAMAQ. <https://camaq.org/wp-content/uploads/2020/02/Rapport-Recensement-Fabrication-2019-2021.pdf>
- Conseil canadien de l'aviation et de l'aérospatiale (CCAA). (2018). *Rapport d'information sur le marché du travail : industries de l'aviation et de l'aérospatiale*. CCAA. <https://www.avaerocouncil.ca/sites/default/files/ccaa-0150-lm-report-fre-online.pdf>
- Conseil canadien de l'aviation et de l'aérospatiale (CCAA). (2020). *Occupational standards survey: Ontario summary*. CCAA.
- Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale au Québec (CRIAQ). (2018). *Livre blanc : Système aérien du futur*. CRIAQ. [https://criaq.aero/wp-content/uploads/2019/09/CRIAQWhitePaperFR\\_nobleed.pdf](https://criaq.aero/wp-content/uploads/2019/09/CRIAQWhitePaperFR_nobleed.pdf)

- Consortium en aérospatiale pour la recherche et l'innovation au Canada (CARIC). (8 août 2014). *Le CARIC se réjouit du soutien du gouvernement fédéral à la R et D en aérospatiale*. CARIC. <http://caric.aero/fr/actualites/le-caric-se-rejouit-du-soutien-du-gouvernement-federal-a-la-r-et-d-en-aerospatiale/?showevents=> ou <https://www.newswire.ca/fr/news-releases/le-consortium-en-aerospatiale-pour-la-recherche-et-linnovation-au-canada-caric-se-rejouit-du-soutien-du-gouvernement-federal-a-la-r-et-d-en-aerospatiale-515225371.html>
- Consortium en aérospatiale pour la recherche et l'innovation au Canada (CARIC). (2020). *Fin des activités du CARIC le 30 septembre 2020*. CARIC. <https://web.archive.org/web/20200811121553/http://caric.aero/fr/actualites/fin-activites-caric-30-septembre-2020/>
- Cooke, P., Boekholt, P. et Tödtling, F. (2000). *The governance of innovation in Europe: Regional perspectives on global competitiveness*. Pinter.
- Coriat, B. (dir.). (2015). *Le retour des communs : La crise de l'idéologie propriétaire*. Les liens qui libèrent.
- Crouch, C., Finegold, D. et Sako, M. (1999). *Are skills the answer?: The political economy of skill creation in advanced industrial countries*. Oxford University Press.
- Deloitte. (2020). *2020 Global aerospace and defense industry outlook*. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Manufacturing/gx-global-outlook-ad-2020.pdf>
- Dixon, J. (2020). *L'effet des robots sur le rendement et l'emploi des entreprises*. Statistique Canada. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/pub/11-626-x/11-626-x2020024-fra.pdf?st=HPviTXg4>
- Dubuc, A. (2020). *Une grille d'analyse pour identifier les industries stratégiques : Le cas de l'aérospatiale*. Institut du Québec. [https://aiac.ca/wp-content/uploads/2020/05/Institut\\_du\\_Qu%C3%A9bec\\_study\\_Part\\_1.pdf](https://aiac.ca/wp-content/uploads/2020/05/Institut_du_Qu%C3%A9bec_study_Part_1.pdf)
- Emerson, D. (2012). *Au-delà de l'horizon : les intérêts et l'avenir du Canada dans l'aérospatiale*, Volume 1. Examen aérospatial mandaté par le gouvernement du Canada. Industrie Canada. [https://web.archive.org/web/20160427232707/https://www.examen-aerospatiale.ca/eic/site/060.nsf/vwapj/Aerospace-f-online.pdf/\\$file/Aerospace-f-online.pdf](https://web.archive.org/web/20160427232707/https://www.examen-aerospatiale.ca/eic/site/060.nsf/vwapj/Aerospace-f-online.pdf/$file/Aerospace-f-online.pdf)
- ÉNA. (2011). *École nationale d'aérotechnique*. ÉNA. Récupéré le 22 octobre 2011, de <https://web.archive.org/web/20141019162301/http://ena.cegepmontpetit.ca/>
- Federal Economic Development Agency for Southern Ontario (FedDev Ontario). (2015). *Notre rôle*. Gouvernement du Canada. [https://www.feddevontario.gc.ca/eic/site/723.nsf/fra/h\\_00109.html?OpenDocument](https://www.feddevontario.gc.ca/eic/site/723.nsf/fra/h_00109.html?OpenDocument)
- Galvin, P. (2019). Local government, multilevel governance, and cluster based innovation policy: Economic cluster strategies in Canada's city regions. *Administration publique du Canada*, 62 (1), pp. 122–150. <https://doi.org/10.1111/capa.12314>
- Global Business Reports. (2017). *Ontario aerospace 2017*. Global Business Report. <https://www.gbreports.com/wp-content/uploads/2017/06/Ontario-Aerospace-2017-Web-V3.pdf>
- Grant, T. (16 novembre 2014). 'Paid to learn': Facing skills shortage, manufacturers invest in training youth. *The Globe and Mail*. <https://www.theglobeandmail.com/report-on-business/economy/how-a-group-of-canadian-manufacturers-are-investing-in-young-workers/article21606043/>
- Groupement aéronautique de recherche et développement en environnement (GARDN). (2019). *Qui sommes-nous?: À propos*. GARDN. <https://gardn.org/fr/sample-page/qui-sommes-nous/a-propos/>
- Haddow, R. (2015). *Comparing Québec and Ontario: Political economy and public Policy at the turn of the millennium* (Vol. 47). University of Toronto Press. <https://www.jstor.org/stable/10.3138/j.ctt14btgxd>
- Hader, M., Thompson, R., Baur, S. et Poetzi, M. (2018). *Navigating complexity. Flying close to the wind: Aerospace and defense top management issues radar 2018*. Think: Act Magazine. Roland Berger. [https://www.rolandberger.com/publications/publication\\_pdf/roland\\_berger\\_aerospace\\_defense\\_radar.pdf](https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_aerospace_defense_radar.pdf)
- Hader, M., Thompson, R., De Silva, N., Poetzi, M. et Nazukin, M. (2019). *Backlogs and balancing acts: Aerospace and defense top management issues radar 2019*. Roland Berger. <https://www.rolandberger.com/en/Publications/Backlogs-and-balancing-acts-in-the-aerospace-and-defense-industry.html>
- Hartley, K. (2014). *The political economy of aerospace industries: A key driver of growth and international competitiveness?* Edward Elgar Publishing.
- Hassen, T., Klein, J. et Tremblay, D. (2011). La construction de nœuds locaux dans un secteur global : le réseautage local dans l'industrie aéronautique à Montréal. *Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, 55 (4), pp. 439–456. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2011.00384.x>

- Heidenreich, M. (2005). The renewal of regional capabilities: Experimental regionalism in Germany. *Research Policy*, 34 (5), pp. 739–757. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.04.004>
- Industrie Canada. (2013). *Évaluation du programme CSeries Bombardier : rapport final*. Industrie Canada, Direction générale de la vérification et de l'évaluation. [https://www.ic.gc.ca/eic/site/ae-ve.nsf/vwapj/Evaluation\\_CSeries\\_Bombardier-fra.pdf/\\$file/Evaluation\\_CSeries\\_Bombardier-fra.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/ae-ve.nsf/vwapj/Evaluation_CSeries_Bombardier-fra.pdf/$file/Evaluation_CSeries_Bombardier-fra.pdf)
- Innovation, Sciences et Développement économique Canada. (2016). *Les gouvernements du Canada et de l'Ontario investissent dans les infrastructures du Collège Centennial*. Gouvernement du Canada. <https://www.canada.ca/fr/innovation-sciences-developpement-economique/nouvelles/2016/11/gouvernements-canada-ontario-investissent-infrastructures-college-centennial.html>
- Innovation, Sciences et Développement économique Canada. (2020). *Projet de la Supergrappe*. Gouvernement du Canada. Récupéré le 22 mai 2020. <http://www.ic.gc.ca/eic/site/093.nsf/fra/00016.html>
- Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) et Association des industries aérospatiales du Canada (AIAC). (2014). *État de l'industrie aérospatiale canadienne*. AIAC. [https://web.archive.org/web/20141127092246/http://www.aiac.ca/uploadedFiles/Canadas\\_Aerospace\\_Industry/Industry\\_Statistics/The%20State%20of%20the%20Canadian%20Aerospace%20Industry%202014.pdf](https://web.archive.org/web/20141127092246/http://www.aiac.ca/uploadedFiles/Canadas_Aerospace_Industry/Industry_Statistics/The%20State%20of%20the%20Canadian%20Aerospace%20Industry%202014.pdf)
- Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) et Association des industries aérospatiales du Canada (AIAC). (2016). *État de l'industrie aérospatiale canadienne : Rapport 2016*. AIAC. <https://aiac.ca/wp-content/uploads/2016/06/Etat-de-lindustrie-aerospatiale-canadienne-rapport-2016.pdf>
- Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) et Association des industries aérospatiales du Canada (AIAC). (2017). *État de l'industrie aérospatiale canadienne : Rapport 2017*. AIAC. [https://aiac.ca/wp-content/uploads/2017/06/2017-State-of-the-Industry-Report\\_FR.pdf](https://aiac.ca/wp-content/uploads/2017/06/2017-State-of-the-Industry-Report_FR.pdf)
- Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) et Association des industries aérospatiales du Canada (AIAC). (2018). *État de l'industrie aérospatiale canadienne : Rapport 2018*. AIAC. [https://www.ic.gc.ca/eic/site/ad-ad.nsf/vwapj/Etat\\_de\\_industrie\\_aerospatiale\\_canadienne\\_rapport2018.pdf/\\$file/Etat\\_de\\_industrie\\_aerospatiale\\_canadienne\\_rapport2018.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/ad-ad.nsf/vwapj/Etat_de_industrie_aerospatiale_canadienne_rapport2018.pdf/$file/Etat_de_industrie_aerospatiale_canadienne_rapport2018.pdf)
- Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) et Association des industries aérospatiales du Canada (AIAC). (2019). *État de l'industrie aérospatiale canadienne : Rapport 2019*. AIAC. [https://www.ic.gc.ca/eic/site/ad-ad.nsf/vwapj/Etat\\_de\\_industrie\\_aerospatiale\\_canadienne\\_rapport2019.pdf/\\$file/Etat\\_de\\_industrie\\_aerospatiale\\_canadienne\\_rapport2019.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/ad-ad.nsf/vwapj/Etat_de_industrie_aerospatiale_canadienne_rapport2019.pdf/$file/Etat_de_industrie_aerospatiale_canadienne_rapport2019.pdf)
- Kagermann, H., Wahlster, W. et Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion. <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>
- Kohler, D. et Weisz, J. (2016). *Industrie 4.0 – Les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand*. La documentation française.
- Leroux, M., Baker, J., Barnet, R., Binning, P., Cowan-Dewar, B., Es Sabar, K., Hamberg, K., Little, M. et Vachon, S. (2020.) *Redémarrer, relancer, repenser la prospérité de tous les Canadiens : Un plan de croissance ambitieux pour bâtir une économie numérique, durable et innovante. Rapport du Conseil sur la stratégie industrielle*. Innovation, Sciences et Développement économique Canada. <https://www.ic.gc.ca/eic/site/062.nsf/fra/00118.html>
- Lineberger, R., Hussain, A., Hanley, T., Rutgers, V. et Sniderman, B. (2019). *Aerospace and defense 4.0: Capturing the value of industry 4.0 technologies*. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ca/Documents/energy-resources/ca-en-er-aerospace-and-defense-4-aoda.pdf>
- Madsen, D. (2019). The emergence and rise of Industry 4.0 viewed through the lens of management fashion theory. *Administrative Sciences*, 9 (3), pp. 1–25. <https://doi.org/10.3390/admsci9030071>
- Mertens, P. et Wiener, M. (2018). Riding the digitalization wave: Toward a sustainable nomenclature in *Wirtschaftsinformatik. Business & Information Systems Engineering*, 60 (4), pp. 367–372. <https://doi.org/10.1007/s12599-018-0545-1>
- Ministère des Collèges et Universités de l'Ontario. (2020). *Fonds catalyseur pour les compétences*. Ministère des Collèges et Universités de l'Ontario. <http://www.tcu.gov.on.ca/fr/eopg/programs/skills-catalyst-fund.html>
- Ministère de l'Économie et de l'Innovation Québec (MEIQ). (2020). *Présentation de l'industrie de l'aérospatiale*. Gouvernement du Québec. <https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/secteurs/aerospatiale/presentation-de-lindustrie-de-laerospatiale/>

- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S. et Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56 (3), pp. 1118–1136. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>
- Murray, G., Lévesque, C., Morgan, G. et Roby, N. (2020). *Disruption and re-regulation in work and employment: From organisational to institutional experimentation*. Transfer: European Review of Labour and Research <https://doi.org/10.1177/1024258920919346>
- Ng, E. S. et Gagnon, S. (2020). *Écarts en matière d'emploi et sous-emploi chez les groupes racialisés et les immigrants au Canada : Constatations actuelles et directions futures*. Forum des politiques publiques du Canada. <https://ppforum.ca/wp-content/uploads/2020/01/Immigrants-FPP-JAN2020-FR-Feb10.pdf>
- Niosi, J. et Zhegu, M. (2005). Aerospace clusters: Local or global knowledge spillovers? *Industry & Innovation*, 12 (1), pp. 5-29. <https://doi.org/10.1080/1366271042000339049>
- Office des technologies industrielles. (2014). *Initiative stratégique pour l'aérospatiale et la défense (ISAD) – Guide de programme*. Gouvernement du Canada. [https://www.ic.gc.ca/eic/site/ito-oti.nsf/vwapj/ISAD\\_Guide\\_de\\_programme\\_2016\\_07\\_26.pdf/\\$file/ISAD\\_Guide\\_de\\_programme\\_2016\\_07\\_26.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/ito-oti.nsf/vwapj/ISAD_Guide_de_programme_2016_07_26.pdf/$file/ISAD_Guide_de_programme_2016_07_26.pdf)
- Ontario Aerospace Council (OAC). (2019). *Ontario aerospace sector*. OAC. <https://theoac.ca/page/ONAerospaceSector>
- Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). (2018). *Statistiques préliminaires pour 2018/2018 Annual report of the council*. OACI.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2020). *Preparing for the future of work in Canada*. OCDE. <http://www.oecd.org/publications/preparing-for-the-future-of-work-in-canada-05c1b185-en.htm>
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.
- Pearce, B. (2020). *COVID-19 government aid*. Association du transport aérien international (IATA). <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/government-aid-and-airlines-debt/>
- Pérez-Lauzon, S. (à paraître). *L'adaptation des PME de l'aéronautique à la lumière d'une perspective de champ: l'initiative MACH à Montréal et en Wallonie* [thèse de doctorat non publiée]. HEC Montréal.
- Pfeiffer, S. (2017). Industrie 4.0 in the making: Discourse patterns and the rise of digital despotism. Dans K. Briken, S. Chillas, M. Krzywdzinski et M. Abigail (dir.), *The new digital workplace: How new technologies revolutionize work*, pp. 21–41. Palgrave Macmillan.
- Phelps, N. A. (2008). Cluster or capture? Manufacturing foreign direct investment, external economies and agglomeration. *Regional Studies*, 42 (4), pp. 457–473. <https://doi.org/10.1080/00343400701543256>
- Russell, R., Wells, D., Waller, J., Poorganji, B., Ott, E., Nakagawa, T., Sandoval, H., Shamsaei, N. et Seifi, M. (2019). Qualification and certification of metal additive manufactured hardware for aerospace applications. Dans F. Froes et R. Boyer (dir.), *Additive manufacturing for the aerospace industry*, pp. 33-66). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814062-8.00003-0>
- Rutherford, T. D. (1998). Still in training? Labor unions and the restructuring of Canadian labor market policy. *Economic Geography*, 74 (2), pp. 131–148. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1944-8287.1998.tb00109.x>
- Rutherford, T. D. (2001). The state of training: Learning, institutional innovation, and local boards for training and adjustment in Ontario, Canada. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 33 (10), pp. 1871–1891. <https://doi.org/10.1068/a33209>
- Rutherford, T. D., Murray, G., Almond, P. et Pelard, M. (2018) State accumulation projects and inward investment regimes strategies. *Regional Studies*, 52(4), pp. 572–584. <https://doi.org/10.1080/00343404.2017.1346368>
- Scott, W. R. (2008). *Institutions and organizations: Ideas, interests, and identities* (3<sup>e</sup> éd.). SAGE Publications Inc.
- Sniderman, B., Mahto, M. et Cotteleer, M. (2016). *Industry 4.0 and manufacturing ecosystems: Exploring the world of connected enterprises*. Deloitte University Press. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/manufacturing/Industry4.0ManufacturingEcosystems.pdf>
- Srocki, D. (6 mai 2020). Covid-19 pandemic could impact local aerospace industry for years. *Nexstar Media Group, Inc.* <https://www.mystateline.com/news/local-news/covid-19-pandemic-could-impact-local-aerospace-industry-for-years/>



- Stanford, J. (2020). *Un deuxième regard sur la technologie et l'avenir du travail*. Forum des politiques publiques du Canada. <https://fsc-ccf.ca/wp-content/uploads/2020/01/UnDeuxi%C3%A8meRegardSurLaTechnologie-Comp%C3%A9tencesDeLAvenir-JAN2020-FR.pdf>
- Statistique Canada. (2012). *Tableau 16-10-0038-01 Archivé - Industries manufacturières, statistiques principales selon la classification par industrie, total et niveau 3 chiffres, données annuelles*. Statistique Canada. <https://doi.org/10.25318/1610003801-fra>
- Statistique Canada. (2014). *Tableau 27-10-0311-01 Acquisition ou intégration des technologies de pointe, selon l'industrie et la taille de l'entreprise*. Statistique Canada. <https://doi.org/10.25318/2710031101-fra>
- Statistique Canada. (2017). *Tableau 27-10-0367-01 Utilisation de technologies de pointe ou émergentes, par industrie et taille de l'entreprise*. Statistique Canada. <https://doi.org/10.25318/2710036701-fra> Statistique Canada. (2020a). *Tableau 36-10-0401-01 Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, par industries (x 1 000 000)*. Statistique Canada. <https://doi.org/10.25318/361004010101-fra>
- Statistique Canada. (2020b). *Tableau 14-10-0202-01 Emploi selon l'industrie, données annuelles*. Statistique Canada. <https://doi.org/10.25318/1410020201-fra>
- Statistique Canada. (2020c). *Tableau 36-10-0402-01 Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, par industries, provinces et territoires (x 1 000 000)*. Statistique Canada. <https://doi.org/10.25318/3610040201-fra>
- Statistique Canada. (2020d). *Tableau 27-10-0333-01 Dépenses au titre de la recherche et développement intra-muros des entreprises, selon le groupe d'industries*. Statistique Canada. <https://doi.org/10.25318/2710033301-fra>
- Supply Chain Working Group. (2012). *Working group report: Supply chain development. Aerospace review mandated by the Government of Canada*. Industry Canada. [http://aerospacereview.ca/eic/site/060.nsf/vwapj/4-Supply\\_Chain\\_Final\\_Report-Final-eng.pdf/\\$file/4-Supply\\_Chain\\_Final\\_Report-Final-eng.pdf](http://aerospacereview.ca/eic/site/060.nsf/vwapj/4-Supply_Chain_Final_Report-Final-eng.pdf/$file/4-Supply_Chain_Final_Report-Final-eng.pdf)
- Tregaskis, O. et Almond, P. (2017). Multinationals and skills policy networks: HRM as a player in economic and social concerns. *British Journal of Management*, 30 (3), pp. 1–18. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.12276>
- Tremblay, D., Klein, J., Hassen, T. B. et Dossou-Yovo, A. (2012). Les acteurs intermédiaires dans le développement de l'innovation : Une comparaison intersectorielle dans la région de Montréal. *Revue d'économie régionale et urbaine*, (3), pp. 431–454. <https://doi.org/10.3917/reru.123.0431>
- UNIFOR. (2016). *Aérospatiale profil sectoriel*. UNIFOR. [https://www.unifor.org/sites/default/files/documents/document/unifor-aerospace-fr\\_0.pdf](https://www.unifor.org/sites/default/files/documents/document/unifor-aerospace-fr_0.pdf)
- UNIFOR. (2018). *L'avenir du travail nous appartient : Faire face aux risques et saisir les opportunités des changements technologiques*. UNIFOR. [https://www.unifor.org/sites/default/files/documents/document/1173-future\\_of\\_work\\_french\\_no\\_bleed.pdf](https://www.unifor.org/sites/default/files/documents/document/1173-future_of_work_french_no_bleed.pdf)
- UNIFOR. (2019). *Toujours plus haut : Une stratégie sectorielle pour l'aérospatiale*. UNIFOR. [https://www.unifor.org/sites/default/files/documents/document/strategie\\_sectorielle\\_pour\\_laerospatiale\\_20180410\\_fr.pdf](https://www.unifor.org/sites/default/files/documents/document/strategie_sectorielle_pour_laerospatiale_20180410_fr.pdf)
- Warrian, P. et Mulhern, C. (2009). From metal bashing to materials science and services: Advanced manufacturing and mining clusters in transition. *European Planning Studies*, 17 (2), pp. 281–301. <https://doi.org/10.1080/09654310802553548>
- Zhegu, M. (2013). Technology policy learning and innovation systems life cycle: The Canadian aircraft industry. *International Journal of Technology and Globalisation*, 7 (1-2), pp. 23–40. <https://www.inderscienceonline.com/doi/pdf/10.1504/IJTG.2013.052029>
- Zukauskaite, E., Trippi, M. et Plechero, M. (2017). Institutional thickness revisited. *Economic Geography*, 93 (4), pp. 325–345. <https://doi.org/10.1080/00130095.2017.1331703>



TED  
ROGERS  
SCHOOL  
OF MANAGEMENT

**Di**VERSITY  
INSTITUTE



Centre des  
**Compétences futures**



OBSERVATOIRE INTERNATIONAL  
SUR LES IMPACTS SOCIÉTAUX  
DE L'IA ET DU NUMÉRIQUE



Le partenariat du CRIMT sur l'expérimentation  
institutionnelle et l'amélioration du travail

**HEC MONTRÉAL**