



Feuille de route pour l'adoption des technologies numériques

Accélérer la transformation numérique dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale

ICTC  **CTIC**

NGen

Feuille de route produite par le Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC)
en partenariat avec Fabrication de prochaine génération Canada (NGen)

Préface :

Le CTIC et NGen sont fiers de présenter cette feuille de route pour l'adoption des technologies numériques dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale. La feuille de route quinquennale détaille les étapes pratiques et les facteurs à prendre en considération pour les entreprises canadiennes de fabrication aérospatiale, en particulier les petites et moyennes entreprises, souhaitant adopter des technologies numériques de pointe, notamment l'intelligence artificielle (IA), l'analyse de mégadonnées, l'informatique en nuage, la cybersécurité, les jumeaux numériques, les capteurs et l'Internet des objets (IdO), ainsi que la robotique de pointe et l'automatisation industrielle. Cette feuille de route fournit à l'industrie de la fabrication aérospatiale des orientations stratégiques concernant l'adoption des technologies numériques. Les feuilles de route ont été élaborées en consultation avec l'industrie et comprennent des exemples concrets et des cas d'utilisation sur la manière dont les technologies numériques sont utilisées dans les usines à travers le Canada et intégrées aux procédés de fabrication.

Autres feuilles de route pour l'adoption des technologies numériques offertes aux fabricants canadiens dans cette série :



Automobile



Biomédical et biofabrication



Aliments et boissons



Produits métalliques

À propos du CTIC :

Le Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC) est un centre d'expertise national neutre et sans but lucratif dont la mission est de renforcer l'avantage numérique du Canada dans l'économie mondiale. Depuis plus de 30 ans, le CTIC fournit des recherches prospectives, des conseils stratégiques pratiques et des solutions de développement des capacités pour les personnes et les entreprises. L'objectif du CTIC est de faire en sorte que la technologie soit utilisée pour stimuler la croissance économique et l'innovation et que la main-d'œuvre canadienne demeure concurrentielle à l'échelle mondiale.

 ictc-ctic.ca/fr

 info@ictc-ctic.ca

À propos de NGen :

Fabrication de prochaine génération Canada (NGen) est l'organisation à but non lucratif gérée par l'industrie, qui dirige la Grappe d'innovation mondiale pour la fabrication de pointe au Canada et est l'un des cinq réseaux nationaux soutenus par l'ambitieuse Initiative canadienne des Grappes d'innovation mondiales. Les activités de NGen reposent sur le principe que la transformation numérique dans la fabrication de pointe enrichira la vie des Canadiens en offrant de meilleurs produits et de bons emplois tout en générant la croissance économique essentielle à un avenir meilleur.

 www.ngen.ca  info@ngen.ca

Pour citer cette feuille de route :

Erik Henningsmoen. Feuille de route pour l'adoption des technologies numériques dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale - Accélérer la transformation numérique dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale. Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC). Ottawa, Canada. Juin 2026.

Résumé

Cette feuille de route quinquennale détaille les étapes pratiques et les facteurs à prendre en considération pour l'industrie canadienne de la fabrication aérospatiale, en particulier les petites et moyennes entreprises, qui souhaitent adopter des technologies numériques de pointe et s'engager dans un parcours de transformation numérique.

Cette feuille de route présente une étude de cas sur l'adoption des technologies numériques dans l'industrie canadienne de la fabrication aérospatiale, et aborde les obstacles, les défis et les solutions liés à la transformation numérique. Elle décrit par ailleurs la façon dont les entreprises de fabrication aérospatiale adoptent de nouvelles technologies numériques, notamment l'intelligence artificielle (IA), l'analyse des mégadonnées, l'informatique en nuage, la cybersécurité, les jumeaux numériques, les capteurs et l'Internet des objets (IdO) ainsi que la robotique de pointe et l'automatisation industrielle.

La feuille de route présente également des exemples d'outils de planification concrets destinés à aider les entreprises canadiennes de fabrication aérospatiale à planifier et à mener à bien leur transformation numérique, comme les suivants :

- 1. Matrice des cas d'utilisation des technologies numériques** : mise en évidence des applications concrètes des sept technologies numériques dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale;
- 2. Cadre de mesure du retour du capital investi (RCI)** : présentation d'exemples d'indicateurs permettant d'évaluer le RCI lié à l'adoption des technologies numériques dans des domaines tels que l'efficacité opérationnelle, la productivité de la main-d'œuvre et du capital, l'accès au marché, l'innovation, la santé et la sécurité, ainsi que les facteurs ESG (environnementaux, sociaux et de gouvernance), et de les aligner sur les objectifs stratégiques de l'organisation et les investissements consentis;
- 3. Liste de contrôle pour la gestion du changement et cadre de gestion par étapes pour les projets de transformation numérique** : présentation d'une approche systématique et progressive visant à élaborer des stratégies de gestion du changement organisationnel et à mettre en place des projets pilotes technologiques pour soutenir la transformation numérique;

- 4. Outils de gestion des risques** : présentation des risques auxquels les entreprises manufacturières peuvent être actuellement confrontées lorsqu'elles entreprennent une transformation numérique sur le marché d'aujourd'hui, ainsi qu'un exemple de registre des risques et de scénarios déclencheurs de gestion des risques;
- 5. Perspectives sur les talents et la formation de la main-d'œuvre pour soutenir la transformation numérique** : aperçu des compétences numériques de base requises pour la fabrication de pointe, des modèles de formation et de mise en œuvre destinés aux fabricants, ainsi que des stratégies organisationnelles visant à perfectionner les compétences numériques au sein de la main-d'œuvre du secteur manufacturier;
- 6. Conseils pour établir des partenariats stratégiques visant à faire progresser la transformation numérique** : présentation des principaux secteurs d'activité concernés et d'exemples de modèles de partenariat, ainsi que des éléments clés à prendre en compte en matière de partage des données lors de la mise en place de partenariats stratégiques.

À l'aide des études de cas concrets, des analyses approfondies et des outils pratiques, cette feuille de route vise à accélérer l'adoption des technologies numériques clés dans l'industrie canadienne de la fabrication aérospatiale et à soutenir les efforts de transformation numérique en cours. L'adoption de nouvelles technologies numériques est essentielle pour assurer le succès continu de l'industrie, stimuler l'innovation et la croissance des entreprises dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale, ainsi que pour maintenir le succès continu du secteur sur le marché mondial.



Table des matières

Résumé	3
Remerciements	5
Raisons pour lesquelles cette feuille de route est nécessaire	6
Sept technologies numériques clés pour la fabrication aérospatiale	9
Horizons temporels de la transformation numérique et de l'adoption des technologies numériques	11
Étude de cas : l'adoption des technologies numériques dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale.....	12
Aperçu et contexte de l'industrie	12
Approches stratégiques pour l'adoption des technologies numériques	13
Applications technologiques en pratique.....	14
› Automatisation industrielle et robotique	14
› Capteurs et Internet des objets (IdO)	16
› Intelligence artificielle (IA).....	16
› Jumeaux numériques.....	17
› Cybersécurité	17
Comprendre le RCI et mesurer les résultats de la transformation numérique	18
› Visibilité opérationnelle et surveillance du rendement.....	18
› Maintenance prédictive et réduction des risques	18
› Conformité, traçabilité et préparation à l'audit	18
Obstacles à l'adoption	19
› Outils et procédés existants.....	19
› Approvisionnement lent et intérêt limité pour un changement rapide.....	20
› Exigences de sécurité, certifications et fonctionnement dans des environnements restreints	20
› Contrôles de l'exportation, souveraineté des données et incertitude quant à ce qui est autorisé.....	20
› Capacité organisationnelle, incitatifs et enjeu de mobilisation liés à l'adoption	20
› Obstacles à l'accès pour les entreprises en démarrage et les petits fournisseurs	20
Obstacles liés à la main-d'œuvre et aux compétences	21
Considérations liées à la gestion du changement organisationnel.....	22
Horizon d'adoption des technologies numériques.....	24
Matrice des cas d'utilisation de la technologie numérique dans la fabrication aérospatiale	25
Cadre de mesure du RCI.....	28
Liste de contrôle de la gestion du changement	31
Points de contrôle des phases de la transformation numérique.....	32
Gestion des risques	33
Scénarios déclencheurs de gestion des risques	34
Talents, développement de la main-d'œuvre et formation	35
Développement de partenariats stratégiques	39
Partage d'informations et de données pour les partenariats stratégiques en fabrication aérospatiale	40
Adoption des technologies numériques : un appel à l'action	41
Mesures à prendre	41
Méthodes de recherche	42

Remerciements

Cette feuille de route a été élaborée en consultation avec des chefs de file de la transformation numérique de l'industrie canadienne de la fabrication aéronautique, notamment par la tenue de cinq entretiens avec des experts et d'une table ronde avec l'industrie. Des représentants d'entreprises de fabrication aéronautique, des fournisseurs de technologies numériques spécialisés dans l'industrie aéronautique, des consultants et d'autres experts ont tous contribué à cette feuille de route.

Le CTIC et NGen remercient toutes les personnes qui ont consacré du temps et leur réflexion à la production de ce document, y compris les personnes et les organisations suivantes qui ont accepté que leurs noms soient mentionnés :

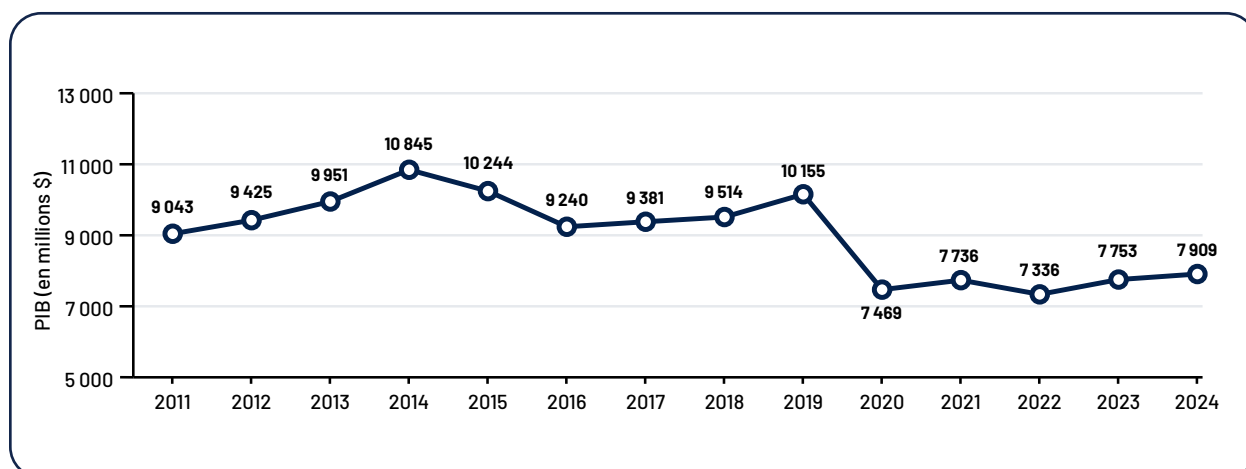
- **Alex Tsoulis**, conseiller principal en développement commercial et technologies de pointe, Mitsubishi Heavy Industries Canada Aerospace (MHICA)
- **Brian Gallant**, PDG, Space Canada
- **Chris Erickson**, PDG, Datifex Inc.
- **David Miller**, directeur de la R-D, charges utiles, Wyvern
- **Greg Wood**, cofondateur et vice-président, MASV
- **Kulbir Colin Singh Dhillon**, directeur général, The Centre for Designing Change (CDC)
- **Mike Knobben**, responsable du développement commercial, AutoAlign AI
- **Philippe Masson**, ing., directeur de l'amélioration continue, AV&R Vision & Robotics Inc.
- **Yi Li**, Ph. D., cofondateur et vice-président exécutif, Maple Advanced Robotics Inc.



Raisons pour lesquelles cette feuille de route est nécessaire

Le secteur manufacturier canadien fait face à de forts vents économiques contraires causés par la baisse de la productivité, le sous-investissement et l'incertitude économique provoquée par les différends commerciaux internationaux. Pour le secteur de la fabrication aérospatiale, le PIB réel a connu une baisse significative depuis 2014, mais aussi un petit regain au cours des dernières années (figure 1).

Figure 1. Valeur du PIB du secteur de la fabrication aérospatiale (2011-2024)



Source : Statistique Canada, tableau : 36-10-0434-06 (SCIAN 3364)¹.

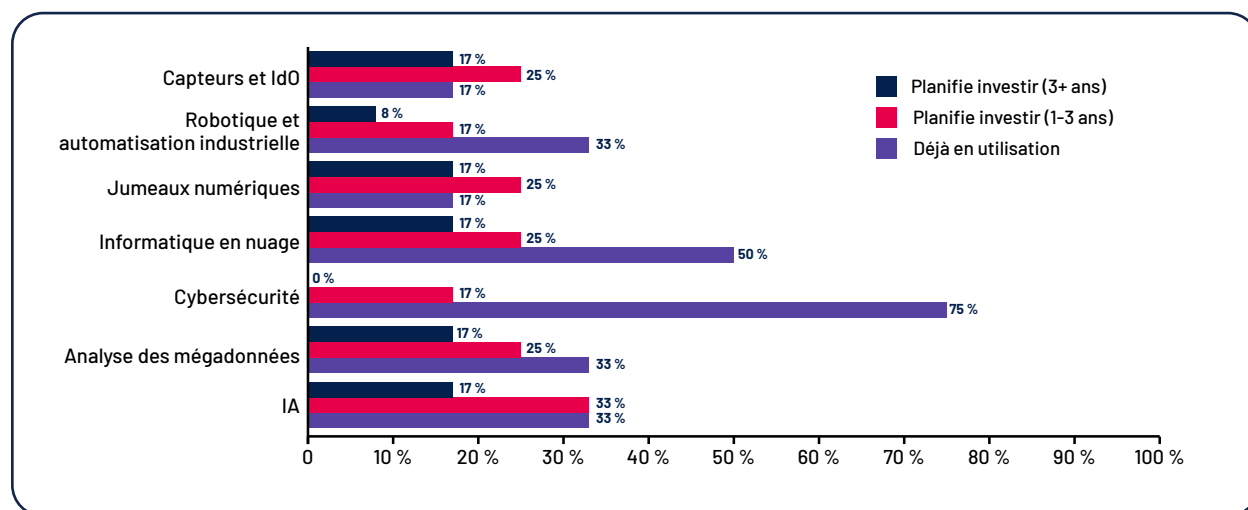
La croissance de l'industrie s'est produite à une époque de perturbation technologique, provoquée par les avancées rapides de la technologie numérique, notamment en intelligence artificielle (IA), mais aussi dans des technologies adjacentes telles que la robotique de pointe, les capteurs et l'Internet des objets (IdO), ainsi que les jumeaux numériques et les infrastructures numériques de base comme l'informatique en nuage.

Les entreprises canadiennes de fabrication aérospatiale peuvent augmenter leur productivité et accélérer la croissance en adoptant davantage de technologies numériques dans leurs opérations de fabrication. Une enquête sectorielle menée par le CTIC révèle que, bien que les entreprises de fabrication aérospatiale aient largement adopté l'informatique en nuage et la cybersécurité, d'autres technologies numériques essentielles comme l'intelligence artificielle (IA), les capteurs et la technologie de l'IdO, ainsi que les jumeaux numériques sont beaucoup moins courantes (figure 2).

¹ Statistique Canada (gouvernement du Canada), « Produit intérieur brut (PIB) au prix de base, par industrie, moyenne annuelle, niveau d'industrie la plus détaillée (x 1 000 000) », tableau : 36-10-0434-06, publié le 26 janvier 2026, https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/cv.action?pid=3610043406&request_locale=fr.



Figure 2. Adoption des technologies numériques dans la fabrication aérospatiale (2025)

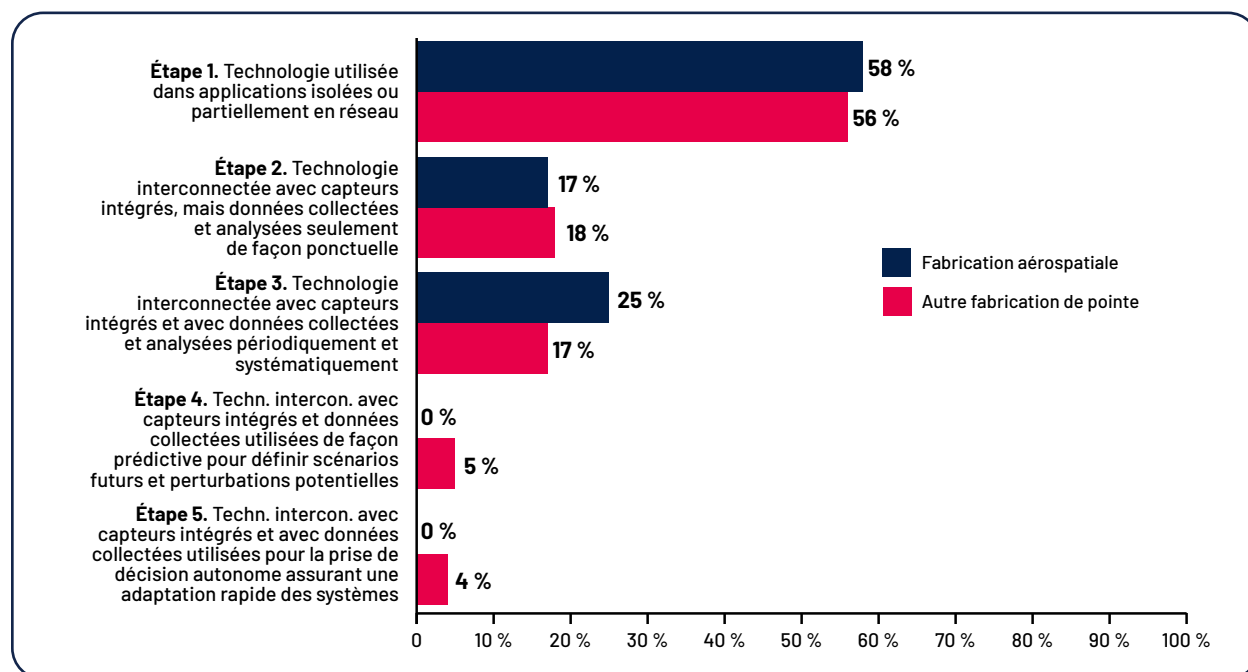


Source : Enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC, 2025.

L'adoption des technologies manufacturières au Canada montre des progrès mitigés selon les secteurs. Dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale, l'enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC a révélé que 58 % des entreprises de fabrication aérospatiale utilisaient la technologie numérique de manière fragmentaire, sous forme d'applications isolées ou partiellement en réseau, que 17 % employaient les technologies

numériques interconnectées, mais n'analysaient que les données collectées de manière ponctuelle, tandis que 25 % employaient les technologies numériques interconnectées et analysaient régulièrement et systématiquement les données collectées. De plus, aucune entreprise interrogée par le CTIC n'a utilisé les données collectées à partir de capteurs en réseau pour l'analyse prédictive et pour soutenir la prise de décision autonome (figure 3).

Figure 3. Étape de mise en œuvre des technologies numériques de pointe dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale (2025)



Source : Enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC, 2025.



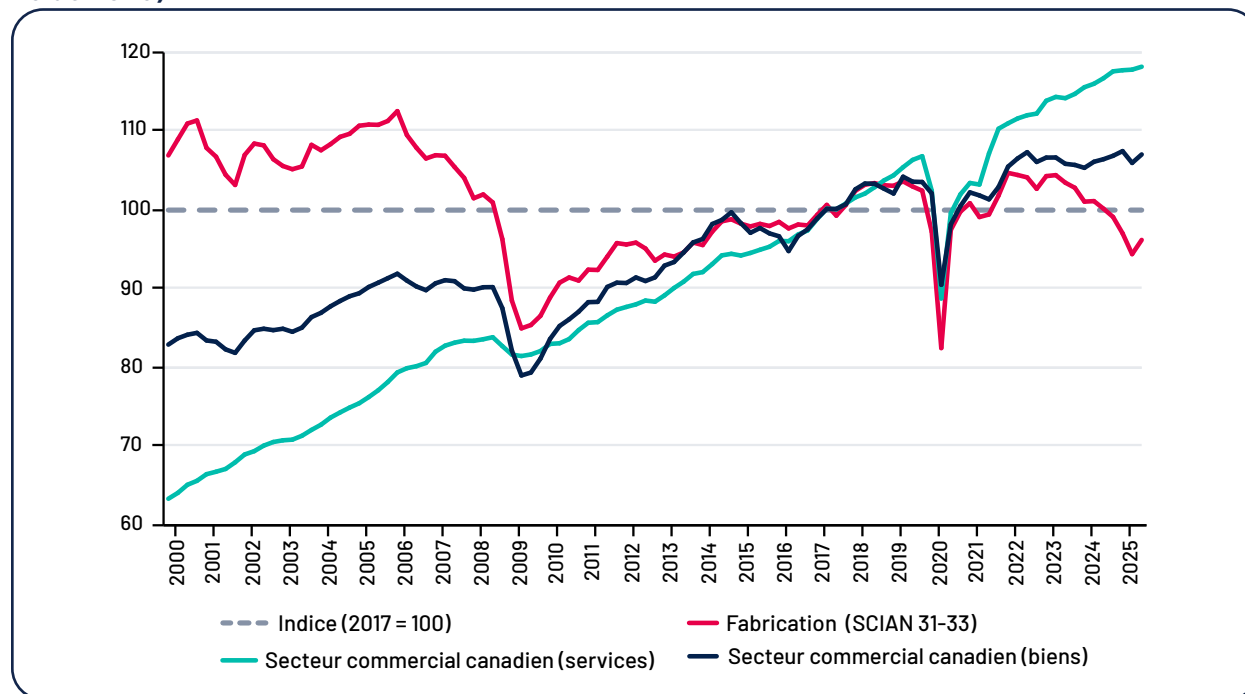
En tirant parti des technologies numériques en réseau pour mener des opérations intégrées et autonomes dans un procédé de fabrication, voire dans l'ensemble d'une entreprise manufacturière, cela produirait un effet positif sur la productivité du travail dans le secteur manufacturier canadien (figure 4). Ces progrès seraient les bienvenus, car la baisse de productivité représente un frein persistant pour l'économie canadienne².

Les défis liés à la productivité sont souvent abordés sous l'angle de l'économie nationale, mais ils ont des répercussions très concrètes sur les entreprises individuelles. Les fabricants canadiens continuent d'accuser un retard par rapport à leurs homologues, notamment aux États-Unis, ce qui exerce une pression sur les coûts, les prix et les marges. Pour une petite ou moyenne entreprise (PME) typique de l'industrie de la fabrication aérospatiale de niveau 2 ou 3 avec un chiffre d'affaires annuel de 20 millions de dollars et une marge de profit sur le bénéfice

avant intérêts, impôts et amortissements (BAIIA) de 15 %, même une amélioration modeste de 5 % à 10 % du taux de rendement de l'équipement global peut véritablement changer la donne.

Les améliorations rendues possibles par des outils tels que la surveillance de la production et la maintenance prédictive ou par une utilisation optimisée des données peuvent permettre d'augmenter le rendement et de réduire les temps d'arrêt sans nécessiter de nouveaux investissements importants. Par exemple, une augmentation de la production de 3 %, combinée à de modestes économies de coûts, pourrait se traduire par une hausse du BAIIA annuel de 300 000 \$ à 600 000 \$, soit une amélioration de 10 % à 20 % du résultat d'exploitation. Vue sous cet angle, l'adoption du numérique ne se résume pas à une simple mise à niveau technologique; il s'agit avant tout de renforcer la rentabilité et la valeur à long terme de l'entreprise.

Figure 4. Indice de la productivité du travail dans le secteur manufacturier au Canada (2000 au T3 de 2025)



Source : Statistique Canada, tableau : 36-10-0207-01³.

² Tim Sargent, « Productivity Growth in Canada: What is Going on? », Université de Calgary, École de politique publique, document d'information, octobre 2024, <https://www.policyschool.ca/wp-content/uploads/2024/10/FP-9-ProductivityGrowth-Final.pdf>.

³ Statistique Canada (gouvernement du Canada), « Indices de la productivité du travail et mesures connexes, selon les industries du secteur des entreprises, désaisonnalisées », tableau : 36-10-0207-01, dernière mise à jour le 3 septembre 2025, https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610020701&request_locale=fr.

Sept technologies numériques clés pour la fabrication aérospatiale

Étant donné que l'ensemble du secteur canadien de la fabrication, y compris le secteur canadien de la fabrication aérospatiale, se doit d'adopter des technologies numériques de pointe, le Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC) et Fabrication de prochaine génération Canada (NGen) sont d'avis que les sept technologies numériques ci-dessous (figure 5) sont essentielles à l'avenir du secteur canadien de la fabrication. Seule, aucune technologie numérique ne livre sa pleine valeur de manière isolée, la véritable valeur commerciale de toutes ces technologies n'est libérée que lorsqu'elles sont adoptées sous forme de piles technologiques.

Figure 5. Sept technologies numériques clés essentielles à la fabrication au Canada

Intelligence artificielle (IA) et apprentissage automatique (AA)	Les systèmes alimentés par l'IA peuvent rapidement analyser de grands volumes de données, aidant à optimiser les procédés et à prédire les résultats, ainsi qu'à automatiser les tâches de prise de décision qui nécessiteraient normalement la cognition humaine. Les modèles d'apprentissage automatique peuvent ingérer des données d'entraînement et apprendre à faire des prédictions, ou à corriger des décisions, sans programmation explicite et codée matériellement.
Analyse de mégadonnées	Méthodes et outils utilisés pour collecter, sélectionner, traiter, intégrer et analyser des volumes extrêmement importants de données dans une opération de fabrication afin d'obtenir des informations et d'améliorer la prise de décision.
Informatique en nuage	Services informatiques à la demande, hors site, permettant d'accéder à des données et de les stocker, de traiter des informations et pouvant servir d'applications logicielles via Internet. L'informatique en nuage permet également aux fabricants de faire évoluer dynamiquement leur infrastructure informatique selon les besoins.
Cybersécurité (TI et TO)	Protéger les réseaux et données sensibles contre les menaces. Dans un environnement manufacturier, la cybersécurité inclut la protection à la fois des technologies de l'information (TI), telles que les réseaux et les données, ainsi que la technologie opérationnelle (TO), comme les machines, les systèmes de contrôle et les capteurs.
Jumeaux numériques	Représentation virtuelle ou modèle d'un actif réel, tel qu'une machine, une chaîne de production, un produit manufacturé ou une installation de fabrication entière, mis à jour de façon continue avec de nouvelles données et permettant au jumeau numérique de refléter l'état de l'actif réel.
Capteurs et Internet des objets (IdO)	Réseaux de machines, de capteurs et d'autres dispositifs électroniques pouvant être reliés en réseau pour collecter et partager des données en temps réel dans une usine ou une chaîne d'approvisionnement, souvent appelé Internet des objets (IdO) ou Internet industriel des objets (IIdO).
Robotique et automatisation industrielle	Les technologies d'automatisation sont utilisées depuis longtemps dans certaines applications de fabrication aérospatiales, mais la robotique de pointe, y compris les cobots et les robots humanoïdes, peut être utilisée dans la fabrication dans diverses applications et intégrée grâce à des technologies telles que l'IA et les réseaux IdO.



Figure 6. Niveaux de maturité technologique numérique de la fabrication de pointe

Étape de la transformation numérique	Niveau de maturité	Technologies numériques clés	Niveau de maturité de la transformation numérique de l'entreprise
Première étape	Technologies fondamentales	› Informatique en nuage/système ERP en nuage › Cybersécurité	Base : mettre en place l'infrastructure numérique nécessaire
Étape intermédiaire	Technologies d'optimisation opérationnelle	› Capteurs et IdO › Analyse de mégadonnées	Intégration et optimisation : établir des procédés de collecte et d'analyse des données pour une infrastructure numérique de base; déployer une plateforme de données pour les technologies de transformation
Étape finale	Technologies de transformation avancées	› IA/AA › Robotique et automatisation industrielle › Jumeaux numériques	Transformation : adopter des technologies numériques de pointe pour transformer les opérations de fabrication de l'entreprise

Source : Analyse du CTIC, 2026.

Seule, aucune technologie numérique ne livre sa pleine valeur de manière isolée, la véritable valeur commerciale de toutes ces technologies n'est libérée que lorsqu'elles sont adoptées sous forme de piles technologiques. Comme l'illustre la figure 6, les entreprises de fabrication aérospatiale peuvent constater que les sept technologies numériques clés sont réparties sur trois niveaux de maturité :

1. les technologies de base (informatique en nuage/ PRE en nuage, cybersécurité);
2. les technologies d'optimisation opérationnelle (capteurs et IdO, analyse des mégadonnées); et
3. les technologies de transformation avancées (IA/AA, robotique et automatisation industrielle, et jumeaux numériques).

Bien que chacune des sept technologies numériques abordées dans cette feuille de route aurait, à elle seule, des conséquences sur la fabrication de pointe au Canada, l'interaction entre ces sept technologies produit véritablement un plus grand impact. Ces sept technologies peuvent être connectées numériquement pour une opération de fabrication ou même pour l'ensemble d'une chaîne d'approvisionnement manufacturière, ce qui produit des gains significatifs en matière d'excellence opérationnelle, de productivité, de sécurité, d'innovation et de réactivité au marché.

Par exemple, les capteurs déployés dans une opération de fabrication, sur des robots industriels et d'autres équipements de production, peuvent collecter des quantités significatives de données en temps réel (c'est-

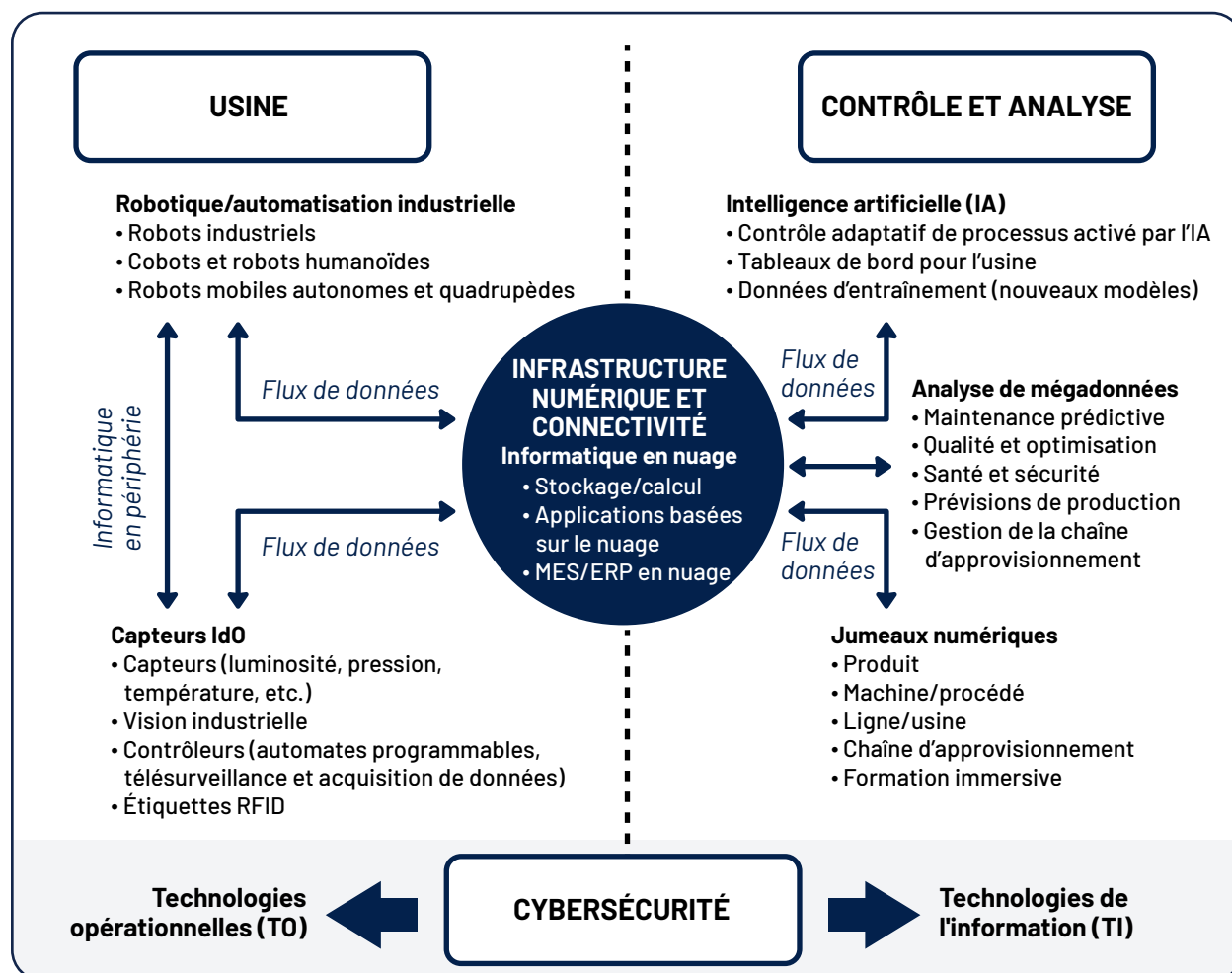
à-dire des mégadonnées), qui peuvent être stockées et traitées dans un environnement infonuagique. Les données peuvent être utilisées pour créer des jumeaux numériques de pièces individuelles de machines et de robots, de procédés de fabrication, de produits et même de l'ensemble d'une entreprise. Les données peuvent également être utilisées pour entraîner des modèles d'IA et effectuer des inférences afin de gérer et optimiser les opérations de fabrication.

L'infrastructure numérique et les données précieuses, intégrées aux actifs de technologie informatique (TI) et de technologie opérationnelle (TO) d'une entreprise manufacturière, doivent être sécurisées contre les cybermenaces, telles que les violations de données et les cyberattaques, grâce à un programme de cybersécurité robuste. La figure 7 présente, de manière générale, la façon dont les sept technologies numériques abordées dans cette feuille de route peuvent être intégrées les unes aux autres dans des installations de production et dans l'ensemble du secteur de la fabrication aérospatiale.

Le modèle présenté ci-dessus à la figure 7 est destiné à exprimer des aspirations, afin de donner un aperçu de ce qui est possible à long terme. Aujourd'hui, même les plus grandes entreprises canadiennes de fabrication aérospatiale n'ont pas atteint ce niveau d'intégration. Les fabricants canadiens de produits aérospatiaux interrogés pour cette feuille de route ont plutôt tendance à adopter progressivement des piles de technologies numériques, par le biais d'investissements stratégiques, de projets pilotes, d'expériences et d'apprentissage organisationnel.



Figure 7. Technologies numériques de pointe dans un modèle d'intégration à la fabrication



Source : Analyse du CTIC, 2026.

Horizons temporels de la transformation numérique et de l'adoption des technologies numériques

Lorsque l'on discute de transformation numérique et d'adoption des technologies dans la fabrication canadienne, il est crucial d'élaborer des délais réalistes et réalisables. Les complexités de l'adoption des technologies numériques, tant techniques qu'organisationnelles, sont importantes. Lorsque les fabricants de produits aéropatiaux adoptent pour la première fois de nouvelles technologies numériques, telles que l'IA, les jumeaux numériques ou la robotique de pointe, il peut s'écouler des années avant qu'ils puissent tirer la pleine valeur de l'investissement et tirer le meilleur parti des technologies.

Un calendrier progressif de cinq ans offre aux fabricants de produits aéropatiaux, y compris ceux qui entreprennent pour la première fois un projet de transformation numérique, un calendrier réaliste et

efficace d'adoption des technologies numériques. En raison des coûts d'investissement élevés, des horizons temporels importants et des cycles de certification des aéronefs et des pièces, les délais peuvent même être prolongés au-delà de cinq ans, comparativement à d'autres secteurs de la fabrication de pointe qui peuvent adopter les technologies numériques en passant des projets pilotes à la mise à l'échelle plus rapidement.

Les entreprises doivent s'attendre à passer la première ou les deux premières années à tester les nouvelles technologies, à collecter des données et à développer une analyse de rentabilité, puis jusqu'à trois ans à mener des projets pilotes efficaces dans leurs opérations de fabrication et à commencer l'intégration numérique à d'autres systèmes de fabrication et d'entreprise.



Adoption des technologies numériques dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale

Cette étude de cas synthétise des informations provenant d'entreprises œuvrant dans l'écosystème aérospatial et spatial canadien, allant des fournisseurs de robotique et de technologies d'inspection de pointe aux fabricants de produits aérospatiaux (FEO) et fabricants de pièces, y compris les entrepreneurs de la défense et entreprises de systèmes spatiaux. Ces organisations œuvrent dans les domaines de l'aviation civile, de la défense, de l'entretien et de la révision, ainsi que dans les domaines des infrastructures adjacentes à l'espace, ce qui reflète l'étendue et la complexité du secteur. De grandes entreprises multinationales ainsi que des petites et moyennes entreprises ont été sollicitées pour produire cette étude de cas.

Les activités de fabrication aérospatiale au Canada incluent l'assemblage d'aéronefs et les pièces d'aéronefs telles que le fuselage, les ailes et les empennages, les moteurs et composants de moteurs d'avion, les prototypes de produits aérospatiaux, les simulateurs de vol, l'avionique, les hélicoptères et les hélices, ainsi que des produits liés à l'espace, y compris les systèmes spatiaux et les satellites et composants de télécommunications.

Aperçu et contexte de l'industrie

Le secteur aérospatial est l'un des secteurs manufacturiers les plus axés sur l'innovation au Canada. En 2024, ce secteur a investi 1,2 milliard de dollars canadiens en recherche et développement et est demeuré au premier rang en recherche et développement parmi les secteurs manufacturiers canadiens. L'intensité de la recherche et la part de l'emploi dans les STIM de ce secteur étaient plus de 2,8 fois supérieures à la moyenne manufacturière. La main-d'œuvre aérospatiale

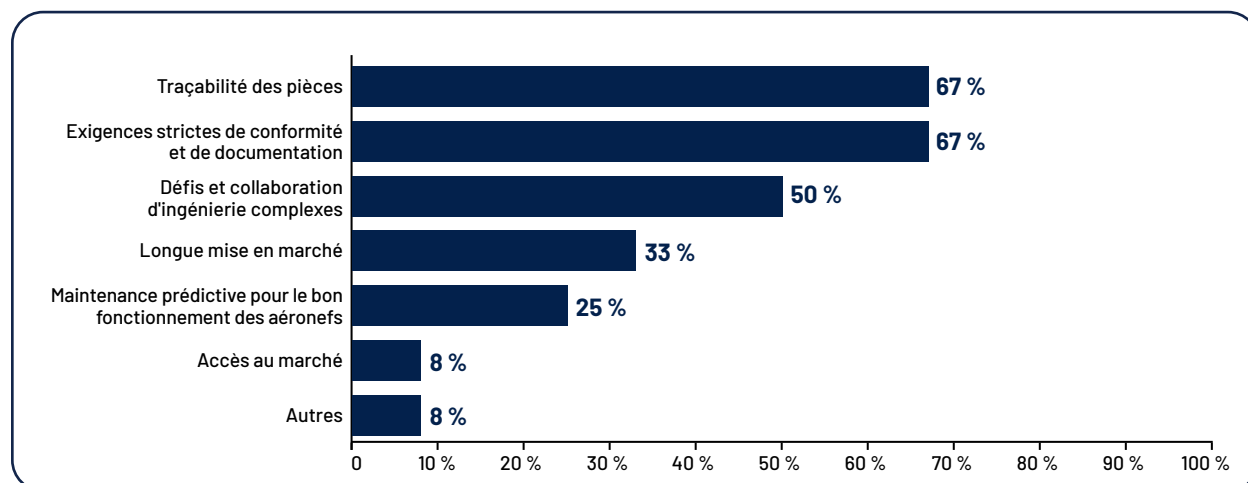
est axée sur l'innovation et ses revenus étaient près de 25 % supérieurs à la moyenne du secteur manufacturier canadien en 2024. Bien que le secteur aérospatial canadien soit principalement orienté vers le segment civil, le segment de la défense reste un élément important, représentant 17 % des revenus globaux canadiens en 2022⁴. Avec la publication en février 2026 de la Stratégie industrielle de défense du Canada, le segment de la défense de l'industrie aérospatiale deviendra de plus en plus important⁵.

Le secteur aérospatial canadien est sur le point de bénéficier de façon importante de la numérisation accrue dans ses opérations de fabrication. La transformation numérique des fabricants de produits aérospatiaux est nécessaire pour résoudre des problèmes commerciaux concrets, notamment la traçabilité des pièces, le respect des exigences strictes de conformité et de documentation, la collaboration à des projets d'ingénierie complexes et le long délai de mise sur le marché des produits aérospatiaux (figure 8).

⁴ L'Association des industries aérospatiales du Canada, « À propos de l'industrie aérospatiale canadienne », consulté le 9 février 2026, <https://aiac.ca/fr/environ/a-propos-de-lindustrie-aerospatiale-canadienne/>.

⁵ Ministère de la Défense nationale (gouvernement du Canada), « Stratégie industrielle de défense du Canada », février 2026 <https://www.canada.ca/fr/ministere-defense-nationale/organisation/rapports-publications/strategie-industrielle/securite-souverainete-prosperite.html>.

Figure 8. Les défis commerciaux les plus urgents (choisir les trois principaux) – Fabrication aérospatiale (2025)



Source : Enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC, 2025.

Approches stratégiques pour l'adoption des technologies numériques

Parmi les fabricants de produits aérospatiaux, l'approche d'adoption des technologies numériques a été décrite par les dirigeants du secteur interrogés pour cette feuille de route comme délibérée, progressive et restreinte par des réalités de sécurité et réglementaires. Les entreprises commencent généralement par veiller à ce que les bases soient en place, c'est-à-dire la connectivité, l'accès sécurisé et l'architecture des systèmes. Les entreprises s'efforcent ensuite de démontrer la valeur à l'aide de cas d'utilisation ciblés plutôt que d'effectuer une intégration complète en une seule fois.

Les chefs de file du secteur aérospatial sont également d'avis que l'adoption nécessite « d'aider les gens à franchir l'étape difficile » qui les permet d'aller au-delà des outils traditionnels. Les décideurs peuvent alors demander « une feuille de calcul plus rapide » plutôt que de repenser la manière dont les données, les systèmes et les utilisateurs interagissent. En résumé, l'approche d'adoption consiste d'abord à sécuriser l'environnement, puis à démontrer la valeur par des cas d'utilisation limités pour enfin évoluer vers une intégration plus profonde et des systèmes plus avancés une fois la gouvernance, la confiance et l'adéquation opérationnelle établies.

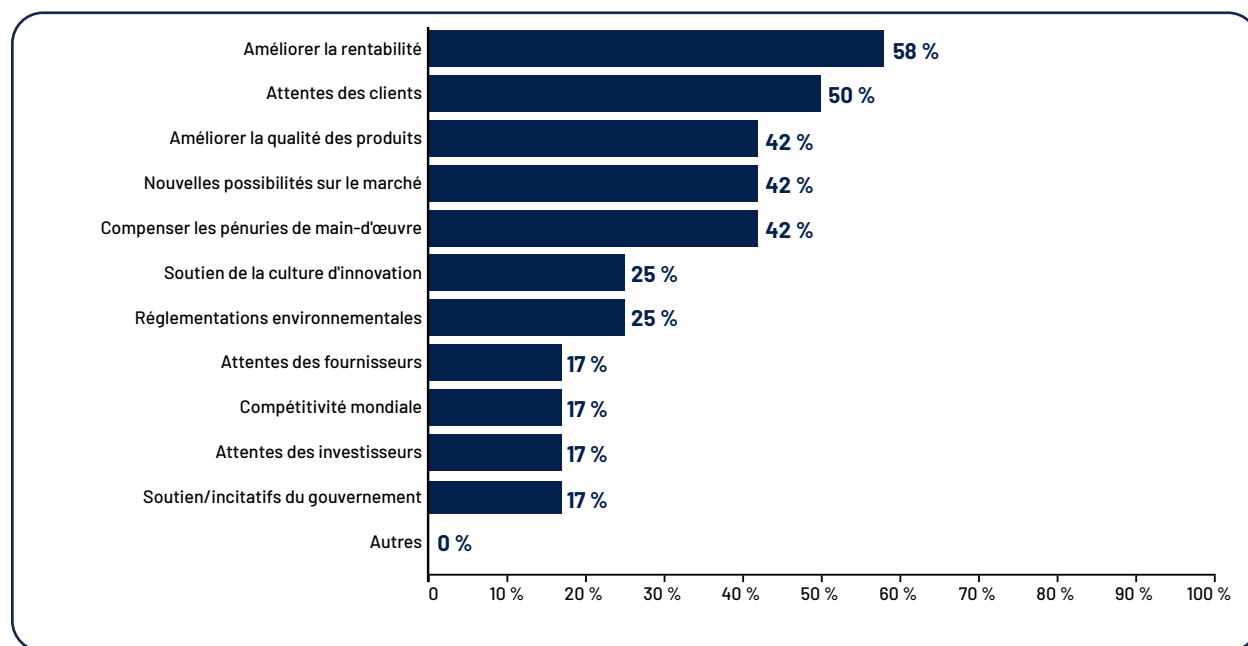
Au cœur de la transformation numérique du secteur aérospatial canadien se situent la légitimité, la fiabilité,

le contrôle et la prévisibilité. Les technologies qui améliorent la visibilité des procédés, réduisent l'incertitude et facilitent la conformité dans les applications critiques pour la sécurité sont prioritaires.

De plus, les chefs de file du secteur aérospatial ont souligné la nécessité d'équilibrer les approches descendantes et ascendantes pour l'adoption des technologies numériques. Ils sont d'avis que les initiatives numériques à l'échelle des entreprises et les investissements en capital sont nécessaires pour moderniser les infrastructures, intégrer les systèmes et étendre leur adoption dans l'ensemble des sites et unités d'affaires. Pourtant, ces dirigeants ont souligné que les équipes de première ligne ont besoin de marge pour expérimenter de nouveaux outils numériques et des modes de travail actualisés, en particulier lorsque les connaissances spécialisées sur les procédés et les réalités opérationnelles façonnent ce qui peut être fait dans les installations de production. Ce qui constitue une adoption « stratégique » varie selon le contexte, mais les principaux objectifs stratégiques de l'adoption des technologies numériques incluent l'amélioration de la rentabilité, la satisfaction des attentes des clients, l'amélioration de la qualité des produits, la réponse aux nouvelles possibilités sur le marché et la compensation des pénuries de main-d'œuvre (figure 9).



Figure 9. Facteurs les plus importants favorisant l'adoption des technologies numériques – Fabrication aérospatiale (2025)



Source : Enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC, 2025.

Applications technologiques en pratique

À un niveau fondamental, dans l'ensemble du secteur canadien de la fabrication aérospatiale, l'infrastructure numérique centrale, y compris l'informatique en nuage, est considérée comme la pierre angulaire pour la consolidation des flux de données opérationnelles en données utilisables et prêtes pour la prise de décision, et en un moyen de rassembler les informations afin qu'elles puissent être consultées, partagées et exploitées par les différentes équipes et les différents sites.

Un fournisseur de technologies numériques ayant une vaste expérience dans la prestation de solutions en nuage aux entreprises aérospatiales a expliqué que leur modèle est entièrement livré en nuage et a expliqué « que tout est basé sur le nuage et qu'aucun logiciel n'est téléchargé ». Il a insisté sur l'accès par navigateur tout en ajoutant que l'adoption doit toujours fonctionner dans le respect de « la sécurité et des VPN », y compris les contraintes pratiques des « VPN internes » dans des environnements à haute sécurité, comme le secteur de la défense.

Pour une entreprise qui développe des technologies de pointe de robotique, d'IA et d'infrastructures spatiales conçues pour soutenir les opérations autonomes, la maintenance prédictive et l'informatique distribuées en orbite et en espace lointain, l'informatique en nuage a pris un sens plus vaste pour devenir une discussion davantage tournée vers l'avenir sur l'informatique en périphérie et les capacités distribuées, de type infonuagique, au-delà de la

Terre, en particulier lorsque les limites de bande passante et la latence réduisent le recours aux centres de données terrestres. Un chef de file de l'industrie aérospatiale a expliqué comment les avancées en informatique permettent désormais de déplacer les capacités « vers la périphérie pour qu'elles soient décentralisées et qu'elles ne dépendent pas des grands centres de données ».

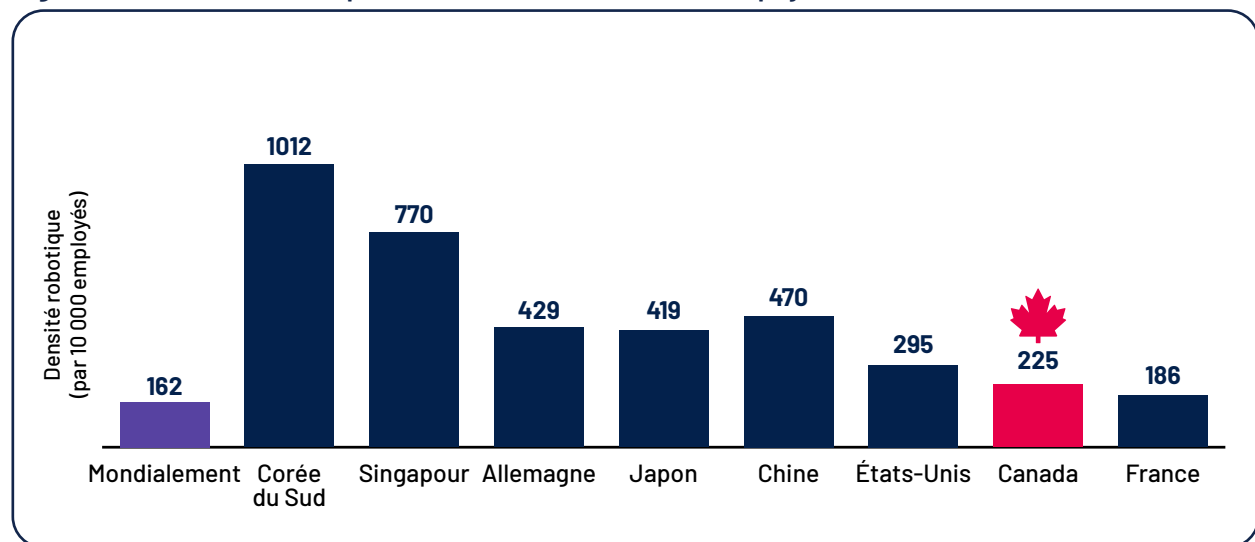
Automatisation industrielle et robotique

L'automatisation et la robotique ont été décrites comme des outils servant à stabiliser la production dans des conditions de rareté de main-d'œuvre, de variabilité des procédés et de risques professionnels, plutôt que comme de simples améliorations de productivité. Ce cadre s'inscrit également dans les discussions de la table ronde, où les participants ont souligné que les décisions d'adoption dans le secteur aérospatial sont moins influencées par les gains d'efficacité liés au volume que par les réalités d'une production à haute fiabilité, des attentes strictes en matière de conformité et des voies restreintes de mise à l'échelle.

Bien que le Canada affiche des densités robotiques supérieures à la moyenne mondiale dans son secteur manufacturier et se compare bien à des économies comparables comme la France et les États-Unis, il accuse un retard par rapport à des chefs de file tels que la Corée du Sud et Singapour (figure 10).



Figure 10. Densités robotiques au Canada et dans certains pays (2023)



Source : International Federation of Robotics, 2024⁶.

Pour une entreprise spécialisée en automatisation robotique pour la fabrication aéronautique, en particulier pour les composants moteurs et pour l'entretien, réparation et révision (MRO), l'automatisation peut être utilisée pour des travaux de finition très variables et épuisants. Cette entreprise explique que certains clients comptent sur « 10 à 70 polisseurs manuels ou mélangeurs » qui « polissent des pièces toute la journée » pour répondre aux exigences de finition de surface et éliminer les résidus de matériau.

Puisque chaque pièce exige des travaux de forge et de coulage différents, ce travail a traditionnellement reposé sur des opérateurs humains qualifiés. L'approche de l'entreprise consiste à reproduire cette adaptabilité grâce à des systèmes robotiques capables « d'adapter les procédés à chaque pièce », ce qui donne des résultats uniformes tout en réduisant la dépendance au travail manuel. Il est important de souligner que cela a été présenté autant comme une stratégie de durabilité de la main-d'œuvre que comme une stratégie de productivité, étant donné que « de moins en moins de jeunes veulent travailler dans un atelier pendant vingt ou trente ans à polir des pièces ».

Pour cette entreprise, l'objectif n'était pas de remplacer les opérateurs par des spécialistes en robotique, mais de rendre la robotique utilisable à l'atelier en « l'humanisant » grâce à des logiciels qui intègrent les connaissances des procédés afin que les opérateurs n'aient pas besoin de devenir des programmeurs de robots.

Dans un autre exemple, une grande entreprise aéronautique et de défense agit en tant que coordonnatrice du maintien de la défense en gérant un réseau de fournisseurs qui fabrique et livre des pièces détachées pour une plateforme existante tout en veillant à ce que les données et dessins techniques sensibles soient traités en toute sécurité. Pour eux, la « préparation numérique » concerne moins l'automatisation interne que le partage sécurisé et contrôlé des informations de conception dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement.

La robotique, dont l'adoption est étroitement administrée, se manifeste principalement au sein de la base d'approvisionnement plutôt que dans la fabrication interne. Les fournisseurs utilisent principalement la robotique pour le soudage et, dans certains cas, pour les réparations et révisions. Les procédés de soudage automatisés doivent suivre des procédures approuvées, passer des tests de qualification et respecter des exigences strictes de traçabilité. L'accent n'est pas mis sur la rapidité, mais sur le contrôle, la vérifiabilité et la conformité, ce qui illustre que dans les contextes aéronautique et de la défense, l'automatisation n'est viable que lorsqu'elle peut être validée formellement.

De même, dans les environnements aéronautiques à faible volume, l'automatisation est souvent justifiée par la qualité et la conformité plutôt qu'uniquement par des facteurs économiques, et les nouveaux systèmes doivent être crédibles dès la première utilisation, car les ouvriers d'atelier sont peu susceptibles de tolérer des outils qui les ralentissent ou qui ne fonctionnent pas de manière fiable lors d'un déploiement précoce.

⁶ Voir : International Federation of Robotics, « Global Robot Density in Factories Doubled in Seven Years », communiqué de presse, 10 novembre 2024, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robot-density-in-factories-doubled-in-seven-years>.

Capteurs et Internet des objets (IdO)

Dans les entreprises, les capteurs et l'IdO ne sont pas seulement perçus comme « une technologie de plus », mais plutôt comme des infrastructures numériques essentielles pour la fabrication aérospatiale. Les entreprises aérospatiales expliquent que les capteurs sont les éléments qui rendent possibles l'inspection, la traçabilité, la maintenance prédictive, la conformité procédurale et l'intégration numérique plus large. En effet, pour les entreprises canadiennes de fabrication aérospatiale qui s'engagent pour la première fois dans une transformation numérique, les capteurs et l'infrastructure IdO intégrés à un système ERP peuvent servir de point de départ à une numérisation ultérieure des opérations de fabrication.

L'inspection pilotée par capteur est apparue comme l'un des cas d'utilisation les mieux établis et les plus clairement opérationnels dans la fabrication aérospatiale. Un fabricant interrogé par le CTIC pour cette feuille de route a décrit un flux de travail qui reproduit l'inspection humaine, mais qui augmente la répétabilité et crée des preuves numériques plus utilisables grâce à la détection en couches. Dans ce flux des travaux d'inspection, la caméra 2D en niveaux de gris dresse une image rapide des surfaces des composants pour signaler d'éventuelles « indications pertinentes » telles que des rayures, des bosses ou des irrégularités de surface. Ces drapeaux rouges préliminaires sont ensuite suivis d'un balayage 3D, qui mesure la géométrie des défauts pour déterminer si le défaut excède les tolérances d'ingénierie.

De manière plus vaste, les entreprises aérospatiales ont suggéré que la vision artificielle progresse en amont et qu'elle est intégrée directement dans les flux de travail de production, ce qui réduit la dépendance aux contrôles manuels en aval. Pour ce qui est des activités d'entretien, de réparation et de révision en particulier, les systèmes de vision sont également considérés comme des éléments supplémentaires assurant la conformité. Ils assurent le respect des procédures strictes et vérifient si les étapes sont réalisées correctement et dans l'ordre prévu.

Enfin, les données des capteurs deviennent de plus en plus l'épine dorsale de la maintenance prédictive, car elles permettent aux équipes de détecter rapidement les problèmes, de surveiller les changements dans le temps et de planifier des interventions plutôt que de mettre en place des solutions réactives. Un répondant a souligné que la maintenance prédictive repose sur une logique pratique, car elle assure le suivi des changements dans le temps, ce qui permet aux équipes d'éviter un travail inutile, de concentrer leur attention là où les conditions se détériorent réellement, et d'intervenir uniquement lorsque cela est justifié.

Intelligence artificielle (IA)

Les entreprises aérospatiales ayant contribué à cette feuille de route n'ont pas présenté l'IA comme un substitut au jugement critique en matière de sécurité ni comme une voie vers une prise de décision de production entièrement automatisée. Pour elles, il s'agit plutôt d'un élément supplémentaire assurant la qualité, la conformité et un accès plus rapide aux informations techniques dans toutes les entreprises.

Les répondants ont indiqué que les cas d'utilisation les plus spécifiques se rapportent à l'entretien et à la réparation, et ils ont expliqué comment l'IA peut améliorer la normalisation des tâches et réduire le travail manuel lié à la conformité. Dans des contextes réels où les erreurs coûtent cher et où la conformité aux procédés est inévitable, l'IA vise davantage à améliorer l'uniformité, la documentation et la préparation à l'audit qu'à automatiser les jugements. Les entreprises aérospatiales interrogées par le CTIC pour ce projet n'ont pas utilisé les technologies d'IA pour obtenir une autonomie décisionnelle dans des fonctions critiques pour la sécurité.

Une entreprise d'automatisation ayant une vaste expérience dans le secteur aérospatial a décrit l'utilisation de l'IA de manière sélective et prudente, en soulignant que « la plupart des algorithmes de détection sont des algorithmes classiques », plutôt que de véritables applications d'IA, car les méthodes classiques sont plus faciles à expliquer et à défendre lorsque les décisions d'acceptation ont des incidences sur la sécurité. Pour cette entreprise, l'IA appuie des tâches plus restreintes telles que la reconnaissance de caractères et aide à produire des « recettes » d'inspection ou de traitement, et elle reconnaît que le secteur aérospatial présente une contrainte liée aux données structurelles par rapport à d'autres domaines, car les exemples de défaillance sont relativement rares comparativement à d'autres industries manufacturières.

Une autre organisation œuvrant dans le secteur de la fabrication aérospatiale a indiqué avoir un fort intérêt pour l'IA, mais qu'elle adoptait une approche délibérément limitée de son utilisation. Selon cette organisation, l'IA pourrait être utilisée « à des fins d'information » et non pour « écrire des choses pour vous » ni pour être une source fiable. Cette organisation préfère choisir une voie privilégiée vers un système de robot conversationnel interne sécurisé, un « outil GPT qui ne regarde que vos données et n'est pas connecté à Internet ». Un tel outil de robot conversationnel peut être interrogé directement pour accélérer l'interprétation, rechercher dans la documentation technique interne et soutenir les spécifications techniques fondées sur les normes tout en limitant le risque d'exposition incontrôlée des données.

Un autre exemple probant fourni se rapporte aux lunettes intelligentes activées par l'IA et portées par des techniciens. Grâce à des caméras intégrées et à l'IA, le



système observe les travaux de maintenance à mesure qu'ils sont exécutés, confirmant que chaque étape est exécutée correctement et dans le bon ordre. À mesure que les techniciens progressent dans le processus de maintenance, l'outil peut automatiquement valider et cocher les tâches en les comparant aux procédures opérationnelles standard.

Dans l'ensemble du secteur canadien de la fabrication aérospatiale, l'adoption de l'IA progresse le plus rapidement lorsqu'elle améliore la vitesse et la traçabilité des flux de travail sans introduire une logique décisionnelle opaque, et lorsque les modèles de déploiement peuvent répondre aux attentes en matière de sécurité, de sûreté et de confidentialité.

Jumeaux numériques

Pour le secteur canadien de la fabrication aérospatiale, l'utilisation des jumeaux numériques varie des répliques virtuelles 3D complètes riches en données aux approches antérieures telles que les suites de visualisation et les points de vue opérationnels se comparant à « une simple fenêtre ». Les jumeaux numériques pour la visualisation des aéronefs et des pièces étaient la méthode la plus courante avec laquelle les entreprises de fabrication aérospatiale interrogées par le CTIC ont utilisé les jumeaux numériques dans leurs opérations.

Dans toutes les entreprises, les jumeaux numériques sont considérés comme un pont pratique entre les données de conception, l'activité dans les installations de production, l'inspection et les décisions de maintenance en aval. Ils facilitent la conception, les tests, le suivi et la maintenance des systèmes aérospatiaux complexes, et ils servent de compléments aux essais physiques et à l'inspection manuelle. Un fournisseur de robotique et d'inspection a décrit le statut de « prêt pour le jumeau numérique » en expliquant que tous leurs systèmes génèrent des données qui sont liées au fichier CAO de la pièce.

Les jumeaux numériques sont particulièrement valorisés dans des contextes liés à l'espace, comme la production de satellites spatiaux, où les tests sont coûteux et les conditions d'exploitation extrêmes. Un répondant a souligné la nécessité de « reproduire l'environnement de l'espace » avec une fiabilité suffisante pour que les régulateurs puissent compter sur les résultats avec confiance. Ce répondant a décrit l'exécution d'un jumeau numérique « en parallèle » avec des missions spatiales réelles pour déterminer où le jumeau numérique s'écarte des conditions observées et pour mettre rapidement à jour les modèles. Les jumeaux numériques sont également décrits comme des outils permettant « la surveillance en temps réel des écarts en ce qui concerne la santé des systèmes », notamment lorsqu'ils sont associés aux données de télémétrie.

D'autres entreprises aérospatiales interrogées par le CTIC sont d'avis que les jumeaux numériques font partie d'un virage plus large vers des environnements intégrés qui consolident et fusionnent plusieurs sources de données.

Un fournisseur de technologies a soutenu que « les jumeaux numériques sont un peu dépassés » en évoquant plutôt les « métavers industriels » qui rassemblent « tout en un seul endroit ». D'autres ont décrit des étapes d'avancement antérieures, comme des suites de visualisation de la taille d'une pièce où les équipes d'ingénierie peuvent visualiser les modèles d'aéronefs et identifier les problèmes à mesure que les modèles évoluent. Dans l'ensemble, l'adoption semble suivre une voie de maturité, allant de la visualisation à une intégration plus profonde aux données opérationnelles, d'inspection et de maintenance en direct.

Cybersécurité

La cybersécurité a été décrite comme un incontournable pour faire des affaires dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale. Ce n'est pas simplement une exigence de conformité, mais une condition opérationnelle fondamentale qui détermine quelles données peuvent être transportées, où elles peuvent être stockées et hébergées, qui peut y accéder, et quelles technologies peuvent être intégrées en vertu des régimes de certification et de contrôle des exportations.

Une entreprise d'un secteur adjacent à la défense a expliqué que l'adoption de nouveaux outils numériques peut être « plus difficile dans ce secteur, car ils doivent se conformer à certaines certifications et à certains critères pour des raisons de sécurité. » Dans ce contexte, l'aspect de la sécurité n'est pas un détail qui soutient la transformation numérique — il détermine la mesure dans laquelle la transformation numérique est possible et la rapidité avec laquelle elle peut progresser.

Une entreprise d'automatisation ayant une vaste expérience dans le secteur aérospatial a expliqué que les préoccupations liées à la cybersécurité peuvent influencer la manière dont les entreprises aérospatiales configurent et soutiennent les systèmes robotiques utilisés dans les installations de production. Dans certains cas, les clients déconnectent de l'Internet public les robots et l'équipement connectés afin de réduire leur exposition aux cyberattaques. Dans ces cas, les robots sont délibérément protégés par un espace étanche, ce qui signifie qu'ils sont isolés de l'Internet et d'autres réseaux afin de les rendre moins vulnérables aux cyberattaques, comme les incidents liés aux rançongiciels.

Ce choix a des incidences pratiques sur la manière dont les outils numériques sont déployés et maintenus. Le même fournisseur a expliqué que le maintien de l'équipement hors ligne peut limiter l'utilisation de fonctionnalités de soutien dépendantes d'Internet, telles que les outils de conversation intégrés, car « beaucoup de clients isolent la machine de l'Internet, ce qui nous empêche de communiquer ».

Les entreprises ont également souligné le lien étroit entre la cybersécurité et la souveraineté des données. Une entreprise a souligné la réalité de l'infrastructure selon laquelle « les acteurs du nuage sont américains », ainsi que l'absence d'une norme commune. Il n'existe « aucun



organisme unique » définissant la souveraineté en termes pratiques, aucun organisme qui peut dire « voici votre liste de contrôle ». En conséquence, les entreprises adoptent des approches incohérentes. Certaines essaient de conserver les « métadonnées au Canada » tout en permettant aux fichiers chiffrés de circuler dans l'infrastructure américaine. Les préoccupations concernant la portée juridique américaine, y compris la loi Patriot, ont renforcé l'idée que le contrôle n'est pas seulement technique par le chiffrement et les autorisations d'accès, mais aussi juridictionnel et contractuel.

Lorsque les entreprises ont été interrogées sur ce qui est le plus important à protéger, la conversation s'est fortement concentrée sur la propriété intellectuelle et les produits contrôlés. Une entreprise a soutenu qu'elle devait protéger « la technologie et les propriétés intellectuelles », soulignant que « le produit lui-même est soumis au contrôle de l'exportation ». Le risque ne se limite donc pas aux arrêts ou aux rançongiciels; il inclut également l'accès non autorisé à des modèles et des produits de données sensibles ayant des incidences réglementaires et de sécurité nationale.

Comprendre le RCI et mesurer les résultats de la transformation numérique

Les entreprises aérospatiales et spatiales ont décrit la mesure des résultats de la transformation numérique et du rendement du capital investi (RCI) comme étant à la fois nécessaire et en évolution. Les entreprises ont souligné que la transformation doit se traduire par une visibilité opérationnelle, une réduction des risques, des gains d'efficacité et une conformité justifiable. Cependant, la manière dont les résultats sont mesurés reflète souvent la position d'une entreprise sur sa courbe de maturité numérique.

Visibilité opérationnelle et surveillance du rendement

Une visibilité accrue est le premier résultat quantifiable de l'adoption des technologies numériques pour de nombreuses entreprises aérospatiales. Les fabricants de produits aérospatiaux s'efforcent d'intégrer les données opérationnelles afin que les gestionnaires et superviseurs puissent visualiser en temps réel les problèmes de rendement, la santé des actifs ou les goulots d'étranglement des flux de travail pour ne pas dépendre de rapports statiques ou de résumés post-événements.

Cette visibilité facilite une prise de décision plus rapide et une responsabilité plus transparente dans les contextes de fabrication et d'entretien, de réparation et de révision. Le suivi du rendement est modifié par le remplacement des feuilles de calcul décousues par des tableaux de bord intégrés.

Maintenance prédictive et réduction des risques

Un second résultat majeur mis en avant par les entreprises de fabrication aérospatiale interrogées par le CTIC pour cette feuille de route était la capacité à réduire les temps d'arrêt imprévus grâce à une surveillance prédictive. Des chefs de file de l'industrie ont décrit

des environnements munis de « réseaux de capteurs massifs », où les résultats de la transformation sont visibles dans la consolidation et l'interprétation des données des machines et des systèmes.

Les entreprises aérospatiales ont souligné que les coûts de chaque « événement imprévu » sont plus élevés que ceux d'une interruption de production anticipée, ce qui fait de la capacité prédictive un résultat mesurable pour la réduction des risques. Dans ces cas, le succès de la transformation se mesure par une réduction des surprises, une meilleure planification et une plus grande fiabilité du système, plutôt que par de stricts paramètres d'extrants.

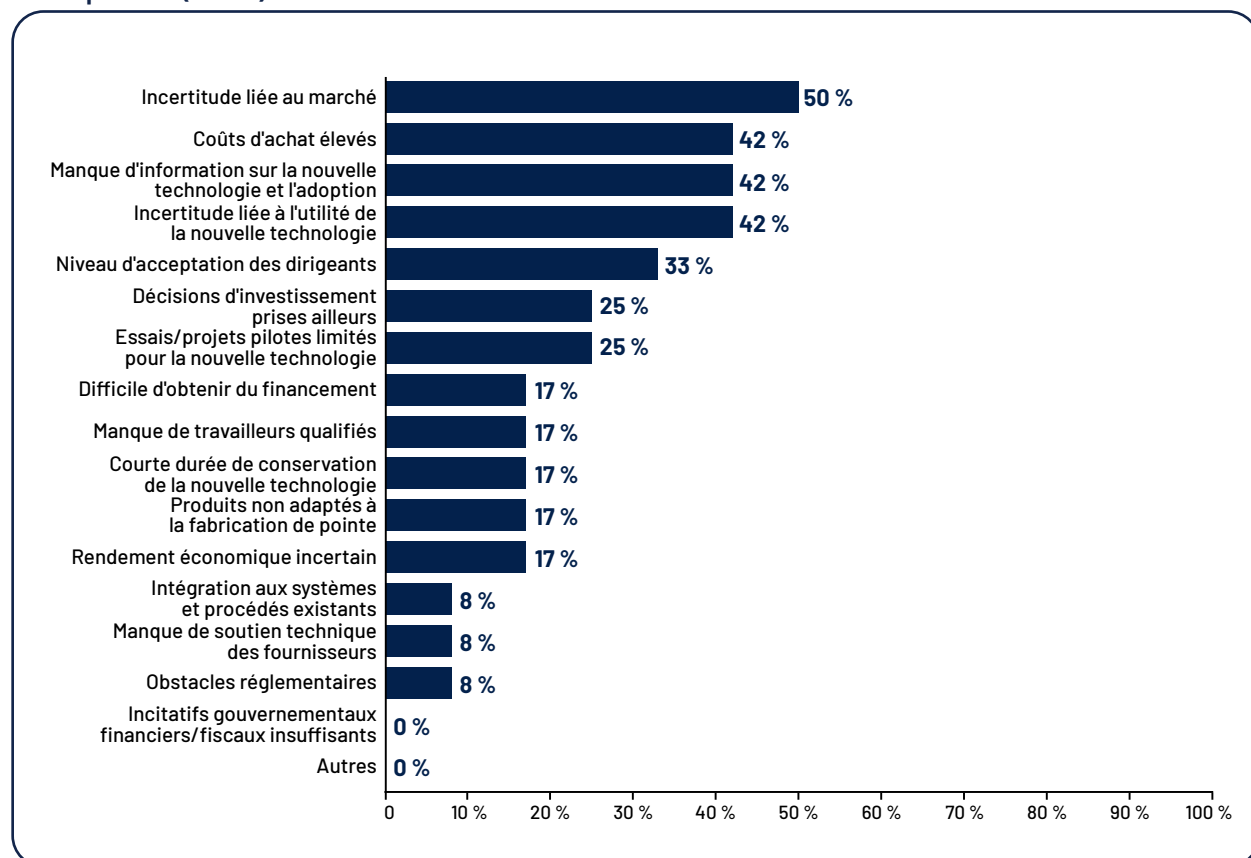
Conformité, traçabilité et préparation à l'audit

La qualité de la documentation et la justification de l'audit sont également utilisées pour évaluer les résultats de la transformation dans le secteur aérospatial. Selon les entreprises interrogées, les systèmes numériques de pointe doivent fonctionner conformément aux « certifications et critères de sécurité », ce qui signifie que la capacité à démontrer clairement et de manière cohérente la conformité est un élément nécessaire au succès des initiatives de transformation numérique dans le secteur aérospatial.

La protection de la « technologie et des propriétés intellectuelles » constitue en soi un critère de transformation pour les entreprises aérospatiales qui traitent des biens à exportation contrôlée. Un système est considéré comme une amélioration mesurable s'il facilite la conformité à l'exportation et renforce le contrôle sur les données sensibles et la propriété intellectuelle. Dans ce cas, la maturité numérique se manifeste non seulement par la rapidité et l'automatisation, mais aussi par la réduction des risques liés à la conformité et la plus grande transparence du contrôle des procédés.



Figure 11. Principaux obstacles à l'adoption des technologies numériques – Fabrication aérospatiale (2025)



Source : Enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC, 2025.

Obstacles à l'adoption

Dans les entreprises aérospatiales canadiennes, les obstacles à l'adoption des technologies numériques ont été décrits moins comme une question d'existence des technologies que comme la capacité des organisations à intégrer ces technologies efficacement aux entreprises manufacturières. Les fabricants aérospatiaux interrogés par le CTIC pour cette feuille de route ont à plusieurs reprises souligné la combinaison des systèmes existants, des cycles de décision lents, des contraintes de sécurité et une capacité inégale à naviguer dans les contrôles d'exportation et la gouvernance des données. Dans de nombreux cas, il ne s'agissait pas d'un obstacle unique, mais plutôt de la friction combinée entre l'intégration, la conformité et la préparation organisationnelle à s'engager dans une transformation numérique à grande échelle.

L'enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques manufacturières du CTIC a révélé que les fabricants aérospatiaux ont souligné l'incertitude du marché, les coûts d'achat élevés pour acquérir de nouvelles technologies, le manque d'informations sur les nouvelles technologies numériques disponibles et le manque de clarté quant à leur adoption dans les opérations de fabrication aérospatiale (figure 11).

Outils et procédés existants

Un obstacle récurrent mentionné se rapporte au fait que les décideurs présentent souvent la modernisation comme une amélioration progressive des outils existants, plutôt que comme un changement de la manière dont l'information est organisée et utilisée. Ce défi est amplifié dans des environnements complexes où les systèmes existants sont profondément intégrés et où le remplacement semble encore plus risqué. Même lorsque les entreprises voient le potentiel, l'adoption est ralentie par l'incertitude de savoir si un nouveau système sera « applicable » et s'il améliorera réellement le travail plutôt que d'être une nuisance pour les utilisateurs. Selon les entreprises, l'adoption de la technologie consiste à éliminer les anciens procédés et à les remplacer par de nouveaux procédés, et ce changement dépend du niveau de confiance à l'égard du fonctionnement fiable des nouveaux outils. Le principal obstacle n'est pas seulement le rendement technique, mais les organisations doivent avoir suffisamment confiance au système pour qu'elles modifient des routines qui semblent déjà sûres.



Approvisionnement lent et intérêt limité pour un changement rapide

Selon les entreprises aérospatiales canadiennes, les longs délais de décision et les cycles d'approvisionnement lents sont également des obstacles pratiques, notamment lorsqu'elles travaillent avec des organismes gouvernementaux et des régulateurs. Une entreprise a indiqué que même lorsque les organisations disposent de ressources, elles « ne vont pas vite » et qu'il faut souvent « un an ou plus » pour intégrer une nouvelle technologie en production. Cette lenteur serait une raison centrale pour laquelle l'adoption semble stagnante, même en période de forte demande de numérisation.

De même, les fabricants aérospatiaux ont décrit une tendance à réaliser une intégration par défaut s'ajoutant aux systèmes existants plutôt qu'à modifier la structure. Il en résulte que la modernisation devient un projet complémentaire plutôt qu'une refonte, ce qui rallonge les délais et augmente le risque que les projets pilotes ne soient jamais mis à l'échelle.

Exigences de sécurité, certifications et fonctionnement dans des environnements restreints

Comme mentionné ci-dessus, les exigences liées à la cybersécurité et à la défense sont apparues comme des obstacles fondamentaux qui se manifestent très tôt et qui façonnent à la fois les types de technologies numériques pouvant être adoptées et la rapidité à laquelle elles peuvent être adoptées. Les entreprises ont indiqué que la sécurité était le garde-fou du parcours d'adoption dans son ensemble et qu'elle établissait les conditions sur l'hébergement des données, la connexion des systèmes et l'accès à ces données. Même lorsqu'une solution est conçue pour être légère et facile à déployer, ces contraintes ne disparaissent pas. Elles déterminent toujours le rythme, les approbations requises et la forme que peut prendre l'adoption dans des conditions réalistes.

Contrôles de l'exportation, souveraineté des données et incertitude quant à ce qui est autorisé

Plusieurs entreprises ont décrit les contrôles de l'exportation et la souveraineté des données comme des obstacles qui ralentissent l'adoption puisqu'ils créent de l'hésitation, des délais et des approches inégales entre les organisations. Une PME du secteur aérospatial a expliqué que les petites équipes ne peuvent souvent pas se permettre de construire une infrastructure interne, mais que le recours à des plateformes externes peut introduire une incertitude en matière de gouvernance. Comme l'a dit la direction de l'entreprise, cette PME ne dispose pas d'une grande équipe qui comprend tous les défis de l'exportation, ce qui la rend « hésitante à se lancer dans l'utilisation de certains de ces outils et ce qui retarde l'innovation ».

Les entreprises ont également souligné que le problème ne réside pas seulement dans la charge réglementaire, mais aussi dans l'absence de directives claires et partagées sur ce à quoi devraient ressembler la conformité et la souveraineté en pratique. Sans normes cohérentes, les grands et petits fabricants aéronautiques interprètent le risque différemment, adoptent différentes solutions de contournement et avancent à des vitesses différentes, même lorsqu'ils tentent de résoudre des problèmes similaires.

Capacité organisationnelle, incitatifs et enjeu de mobilisation liés à l'adoption

Les entreprises ont également décrit une barrière structurelle au sein des organisations, car les nouveaux travaux d'adoption se situent souvent entre deux rôles. Un fournisseur de technologies a soutenu que les travailleurs du secteur aérospatial sont « occupés à faire leur travail » et cherchent à faire en sorte que les outils actuels accélèrent leur travail, tandis que peu de personnes sont responsables de l'évaluation des nouveaux systèmes dans la plupart des entreprises de fabrication aérospatiale. Cela crée un fossé en ce qui concerne la mobilisation, puisque les utilisateurs finaux sont évalués en fonction des indicateurs de rendement clés (IRC) et du débit, et les groupes d'innovation peuvent exister, mais peuvent être déconnectés des personnes qui utilisent réellement les outils numériques sur dans les installations de production.

Obstacles à l'accès pour les entreprises en démarrage et les petits fournisseurs

Enfin, les petites entreprises ont décrit l'accès au marché lui-même comme un obstacle. Une entreprise en démarrage technologique a expliqué qu'il est « très difficile » de simplement présenter à des clients potentiels les nouvelles technologies et qu'il est « très, très difficile de contacter ces personnes » sans intermédiaires. Une autre entreprise a souligné que des groupes d'écosystème peuvent aider les entreprises à ouvrir des portes, mais que les progrès initiaux dépendent d'une présentation de la part d'un intermédiaire fiable.

Parallèlement, de grandes entreprises contribuent à réduire l'écart en ce qui concerne l'accès. Un grand FEO du secteur aérospatial a évoqué l'aide apportée aux petites et moyennes entreprises de sa chaîne d'approvisionnement avec des projets de transformation numérique. Ce soutien a réduit les coûts et les risques liés à l'adoption de nouvelles technologies pour les petits fournisseurs qui n'ont pas les ressources internes pour s'engager dans une transformation numérique à grande échelle, et a également soutenu l'effort réalisé par le FEO pour numériser sa chaîne d'approvisionnement en améliorant le partage des données et les procédés entre partenaires. Cela devrait faciliter l'intégration future. Pour les PME qui sont des fournisseurs, les bénéfices comprennent des gains pratiques de productivité, tels que la réduction du travail manuel, une meilleure documentation, des contrôles qualité plus rapides et des transferts plus fluides dans les procédés de production et d'inspection.



Obstacles liés à la main-d'œuvre et aux compétences

Le développement et la formation de la main-d'œuvre sont considérés comme essentiels à la réussite de la transformation numérique dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale. Les fabricants aérospatiaux interrogés par le CTIC pour cette feuille de route ont souligné que la transformation numérique nécessite un investissement clair dans les compétences et le renforcement des capacités internes.

Dans de nombreux cas, les entreprises aérospatiales ont souligné que l'adoption repose sur la capacité d'aider les gens à passer à l'étape suivante, non seulement sur le plan technique, mais aussi sur le plan de la culture d'entreprise, surtout lorsque les équipes sont habituées à des flux de travail et des outils établis. La formation se concentre non seulement sur l'utilisation de nouveaux systèmes, mais aussi sur l'aide aux employés pour les aider à comprendre les raisons pour lesquelles les flux de travail évoluent et la façon dont les outils numériques améliorent la traçabilité, la conformité et la prise de décision.

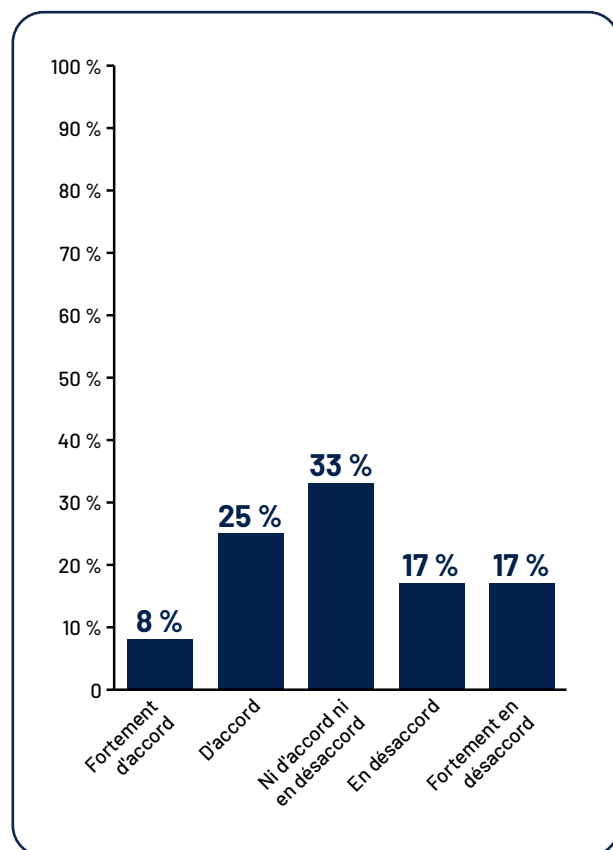
En matière de formation du personnel et de développement de la main-d'œuvre favorisant la transformation numérique, 67 % des fabricants aérospatiaux canadiens interrogés par le CTIC ont déclaré

disposer de personnel possédant les compétences numériques nécessaires pour adopter de nouvelles technologies numériques. Seuls 33 % des fabricants aérospatiaux ont déclaré avoir formé des plans de formation du personnel pour l'adoption et la mise en œuvre de nouvelles technologies numériques (figures 12 et 13).

Les entreprises manufacturières du Canada sont conscientes des pénuries de main-d'œuvre et de la capacité interne limitée, notamment dans les environnements spécialisés de la fabrication aérospatiale. Pour cette raison, les stratégies d'adoption efficaces visent souvent à réduire la dépendance aux spécialistes techniques rares en intégrant directement les connaissances sur les procédés aux logiciels et interfaces. On vise ainsi à rendre les systèmes avancés utilisables pour les ouvriers de production existants sans qu'ils aient à devenir des programmeurs ou des scientifiques des données. Dans des contextes fortement réglementés, la formation inclut également le renforcement de la discipline procédurale et la sensibilisation à la cybersécurité, en veillant à ce que les employés comprennent les obligations de contrôle de l'exportation, les exigences de gestion des données et les normes de documentation.

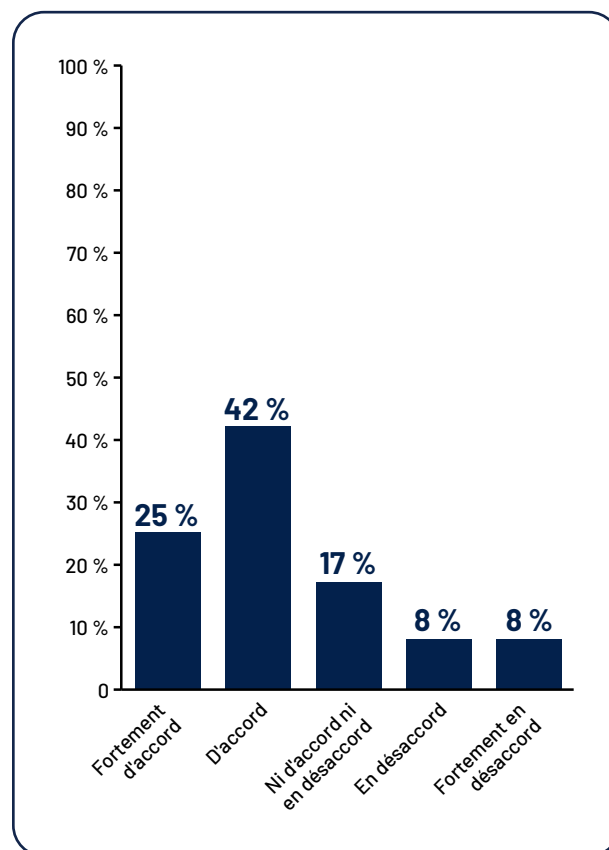


Figure 12. D'accord/en désaccord – Mon organisation dispose d'un plan de formation du personnel nécessaire pour mettre en œuvre et adopter de nouvelles technologies numériques – Fabrication aérospatiale (2025)



Source : Enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC, 2025.

Figure 13. D'accord/en désaccord – Mon organisation dispose d'un personnel possédant les compétences en technologies numériques nécessaires pour mettre en œuvre et adopter de nouvelles technologies – Fabrication aérospatiale (2025)



Source : Enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC, 2025.

Considérations liées à la gestion du changement organisationnel

Les entreprises de fabrication aérospatiale interrogées par le CTIC pour cette feuille de route ont souligné que des programmes de gestion du changement organisationnel bien réfléchis et dotés des ressources nécessaires peuvent contribuer à faire en sorte que les initiatives de transformation numérique se traduisent par des succès commerciaux plutôt que par des projets pilotes sans lendemain ou même des initiatives d'adoption technologique ratées. Le maintien des certifications des aéronefs et des pièces peut être un élément clé de gestion du changement pour les fabricants aérospatiaux.

Compte tenu des exigences élevées de fiabilité du secteur et de l'environnement opérationnel strictement réglementé, les dirigeants du secteur ont souligné que l'adoption ne peut pas être considérée comme

un exercice purement technique. En ce qui concerne l'élaboration de stratégies complètes d'adoption des technologies numériques et le soutien à une forte culture du changement soutenant la transformation numérique, 58 % des fabricants ont déclaré disposer d'une stratégie globale d'adoption des technologies numériques et 59 % ont bénéficié d'une culture du changement adaptée à la transformation numérique (figures 14 et 15).

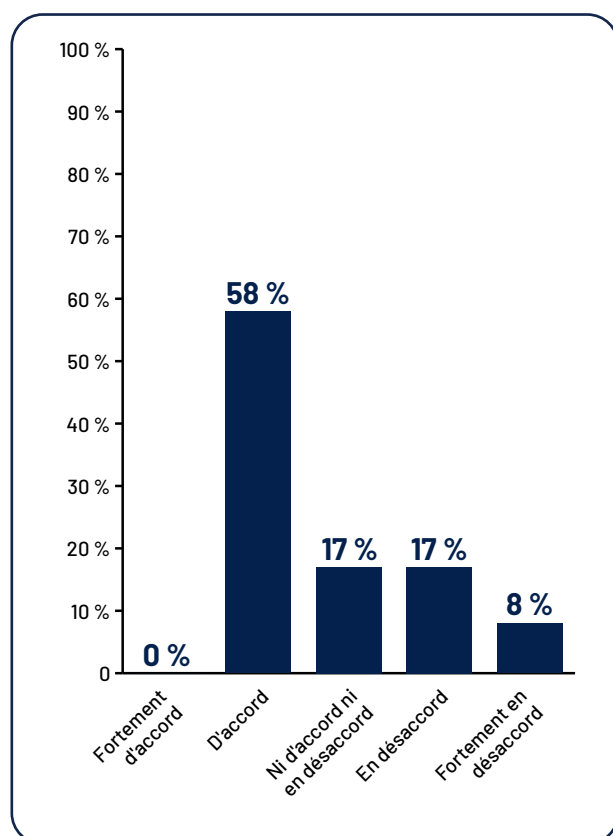
De même, des chefs de file canadiens du domaine aérospatial ont également indiqué que les partenariats stratégiques étaient un moyen pratique pour les entreprises aérospatiales d'accélérer l'adoption numérique, surtout lorsque l'objectif est de moderniser plus d'une seule installation et de renforcer les capacités de l'ensemble de l'écosystème canadien.



Un répondant a indiqué que Downsview Aerospace Innovation and Research de Toronto était un bon exemple de modèle de consortium canadien qui rassemble les entreprises autour de l'innovation et de l'adoption technologique. D'autres répondants ont indiqué que la Japan Aircraft Development Corporation est une approche collaborative dont le Canada pourrait s'inspirer, la décrivant comme un modèle dans lequel les entreprises

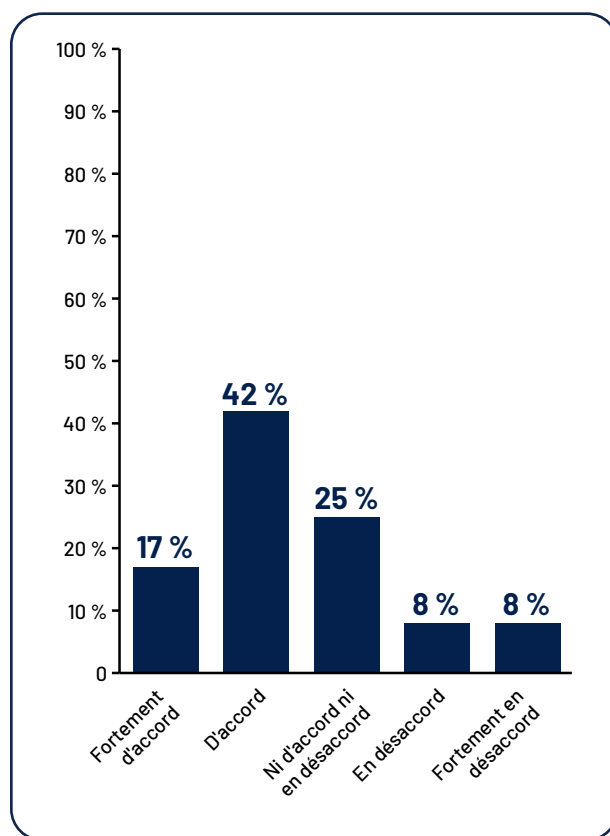
aérospatiales s'entendent sur des priorités technologiques communes pour les avions civils et les font progresser par des initiatives conjointes de R&D. Ensemble, ces exemples illustrent les façons dont les initiatives écosystémiques peuvent aider à réduire les risques liés à l'adoption, coordonner l'expérimentation et soutenir une diffusion plus large des outils numériques dans l'ensemble du secteur.

Figure 14. D'accord/en désaccord - Mon organisation a une stratégie globale pour l'adoption des technologies numériques - Fabrication aérosapiale (2025)



Source : Enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC, 2025.

Figure 15. D'accord/en désaccord - Il existe une forte culture de changement sur laquelle sont alignées la stratégie, les actions et la structure numériques dans l'ensemble de l'organisation - Fabrication aérosapiale (2025)



Source : Enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC, 2025.

Horizon d'adoption des technologies numériques

Comme le démontre cette étude de cas, les complexités techniques et organisationnelles liées à l'adoption des technologies numériques et à la transformation numérique sont immenses, mais non insurmontables. Les fabricants aérospatiaux devraient planifier l'adoption des technologies numériques sur un horizon de cinq ans. Cependant, des projets de transformation numérique à grande échelle dans le secteur aérospatial peuvent facilement dépasser les cinq ans. La figure 16 présente les horizons temporels d'adoption des technologies numériques dans le secteur de la fabrication aérospatiale.

Figure 16. Horizon d'adoption des technologies numériques

Phase d'adoption	Horizon temporel	Exemples illustratifs
I. Pilotes	Années 1-2	Expérimentation initiale de l'automatisation de la production, adoption d'outils de planification de production par l'IA, tableaux de bord en nuage, projets pilotes de maintenance prédictive.
II. Mise à l'échelle	Années 3-5	Étendre les projets pilotes efficaces dans l'ensemble des lignes et usines de production, élargir les programmes de formation de la main-d'œuvre, accroître l'utilisation des capteurs IdO pour la surveillance en temps réel.
III. Intégration	Années 5+	Intégrer pleinement les écosystèmes numériques (p. ex., IA, IdO, informatique en nuage, jumeaux numériques), mettre en place des plateformes de données à l'échelle de l'entreprise, partager les données dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement.

Note : cette chronologie reflète la manière dont les entreprises de l'étude de cas perçoivent leur propre préparation et leur rythme d'adoption. Les délais réels varient selon la taille de l'entreprise, les ressources et les conditions du marché.



Matrice des cas d'utilisation de la technologie numérique dans la fabrication aérospatiale

Les cas d'utilisation précisent la façon dont différentes technologies numériques peuvent être adoptées dans une opération de fabrication aérospatiale. La figure 17 présente une matrice décrivant cinq exemples de cas d'utilisation pour chacune des sept technologies numériques abordées dans cette feuille de route, ainsi que les bénéfices pouvant découler de chaque cas d'utilisation. Comme il existe probablement des dizaines de cas d'utilisation différents pour chacune de ces technologies numériques de pointe, ainsi que des cas d'utilisation spécifiques pour des types spécifiques d'opérations de fabrication aérospatiale, les cas présentés sont destinés à être illustratifs, plutôt qu'exhaustifs.

Figure 17. Matrice des cas d'utilisation des technologies numériques – Fabrication aérospatiale

Technologie	Exemple de cas d'utilisation	Bénéfice(s)
IA/AA	Maintenance prédictive technologique de production	Réduire le risque de pannes non planifiées, diminuer les incidents de défaillances catastrophiques des équipements.
	Robots conversationnels de maintenance/dépannage	Réduire les temps d'arrêt des équipements de production en accélérant la maintenance et le dépannage.
	Automatisation de la documentation sur la conformité et de la documentation technique	Automatiser la production de la documentation sur les produits finis, comme les rapports d'essai des matériaux.
	Contrôle adaptatif de processus activé par l'IA	Améliorer la qualité, augmenter le débit, réduire les temps d'arrêt, accroître l'efficacité énergétique et renforcer la flexibilité de la production.
	Systèmes d'inspection par vision artificielle et de détection des défaillances activés par l'IA	Accroître la rapidité et la précision des processus de détection des défaillances.

Technologie	Exemple de cas d'utilisation	Bénéfice(s)
Analyse de mégadonnées	Optimisation des procédés/analyse des causes profondes	Augmenter le débit, identifier les causes profondes des variations, améliorer la qualité, réduire le gaspillage de matières.
	Prévision de la demande et optimisation des stocks	Augmenter la réactivité au marché, réduire les déchets et optimiser la planification de la production.
	Tableaux de bord/surveillance du rendement des fournisseurs	Surveiller en temps réel le rendement des fournisseurs, prédire les variations de rendement des fournisseurs, prédire les pénuries des fournisseurs.
	Collecte de données de formation par l'IA/AA pour la future construction de modèles d'IA	Collecter de grands volumes de données réelles issues des opérations de production pour entraîner des modèles d'AA en vue de la mise en œuvre future de l'IA.
	Analyse de l'usure des outils	Analyser les outils de fabrication, tels que les outils de coupe CNC, pour détecter l'usure, prédire les besoins de remplacement.
Informatique en nuage	Traçabilité des produits et gestion du cycle de vie	Enregistrements numériques soutenant la traçabilité des produits et la gestion du cycle de vie
	Partage centralisé des données entre installations et sites de production	Partage fluide des données entre les installations et les sites de production, flux d'information plus efficace.
	Systèmes MES/ERP évolutifs en nuage	Augmenter la flexibilité des systèmes d'exécution de fabrication (MES) et de planification des ressources d'entreprise (ERP), réduire le risque de goulots d'étranglement dans l'infrastructure numérique ou les ressources informatiques, économies de coûts.
	Hébergement des jumeaux numériques et itérations évolutives	Héberger les jumeaux numériques de produits, d'équipement, de chaîne de production ou d'installation dans un environnement en nuage.
	Infrastructure numérique basée sur le nuage pour les applications de collaboration	Renforcer la collaboration entre la conception et l'ingénierie entre les unités commerciales et les sites de production.
Cybersécurité (TI/TO)	Informations sur la détection d'intrusion et la sécurité; gestion des événements (SIEM)	Détection, analyse et réponse en temps réel aux incidents pour l'ensemble des réseaux et applications.
	Essais d'intrusion et exercices avec équipe rouge	Tester la résistance des réseaux TI/TO critiques, identifier les vulnérabilités des réseaux et des procédés opérationnels.
	Normes et bonnes pratiques en cybersécurité (p. ex., PCCC, CMMC, ISO 27001)	Renforcer la gouvernance et la conformité en cybersécurité, réduire les risques cybernétiques, respecter les exigences de sécurité nationale.
	Actifs TO étanches (p. ex., robots industriels)	Réduire le risque d'incidents cybernétiques visant des actifs clés de la TO, comme les attaques par rançongiciels, au détriment de l'intégration réseau.
	Sauvegardes sécurisées et tests de reprise après sinistre	Réduire le risque de perte catastrophique de données et renforcer la continuité des activités.



Technologie	Exemple de cas d'utilisation	Bénéfice(s)
Jumeaux numériques	Jumeaux numériques d'outillage de production	Prédire l'usure des machines-outils en fonction de l'utilisation historique et du calendrier de production.
	Formation virtuelle des opérateurs d'équipements (VR/XR)	Réduction du temps de formation pour les nouvelles recrues, réduction du temps nécessaire pour former les travailleurs sur de l'équipement réel.
	Conception et optimisation de la disposition des lignes de production/installations	Temps de réoutillage réduit, réduction des heures requises par les professionnels qualifiés pour déplacer l'équipement.
	Jumeau numérique de produit aérospatial pour la visualisation	Modèle numérique détaillé des produits aérospatiaux pour améliorer la gestion des programmes, la conception technique et les relations marketing/clients.
	Jumeaux numériques pour les essais de vaisseaux spatiaux dans des environnements extrêmes	Tester virtuellement les engins spatiaux et leur capacité à opérer en toute sécurité et efficacité dans des environnements extrêmes, comme l'orbite terrestre.
Robotique et automatisation industrielle	Cellules de soudage robotisées	Réduire l'exposition des travailleurs aux fumées de soudure, réduire les étincelles, soudures plus uniformes, vitesses de soudure plus rapide.
	Cellules de polissage de pièces robotiques aérospatiales	Réduire l'exposition des travailleurs à la poussière, aux débris, aux vibrations; améliorer la qualité de polissage, accroître la production.
	Robots/cobots industriels équipés de vision artificielle pour la manipulation des pièces et des matériaux	Augmenter la précision de prélèvement, réduire la fatigue des ouvriers, augmenter le débit des pièces.
	Robots mobiles autonomes (AMR) pour l'intralogistique des installations	Réduire les manipulations humaines requises pour les matériaux, surveillance en temps réel des flux de matériaux et flux agiles.
	Robots quadrupèdes (c'est-à-dire « chiens robots ») pour l'inspection automatisée des installations/machines	Identifier les variations dans les conditions de l'usine/équipement afin de réduire le risque de temps d'arrêt non planifié.
Capteurs et IdO	Capteurs acoustiques, de température, de vibrations sur les équipements de production, etc.	Surveiller les variations des paramètres de l'équipement de production pour la maintenance prédictive.
	Inspection pilotée par capteur	Augmenter la vitesse et la précision des pièces et de l'inspection des aéronefs.
	Vision artificielle pour le respect de la conformité	Accroître le respect de la conformité en utilisant des caméras à vision artificielle pour surveiller les contrôles de conformité et détecter les écarts.
	Étiquettes RFID pour le suivi de la chaîne d'approvisionnement et des stocks	Suivre les produits, matériaux et actifs dans l'environnement de production afin de réduire le risque de perte d'actifs ou de stocks.
	Capteurs IdO et appareils connectés destinés aux travailleurs pour la surveillance et la détection en temps réel des dangers	Améliorer la sécurité des travailleurs, réduire les incidents de sécurité et raccourcir le temps de résolution des risques.



Cadre de mesure du RCI

Comme pour d'autres décisions d'entreprise, l'investissement dans la transformation numérique et l'adoption de nouvelles technologies numériques doit être évalué sous un angle financier, être conforme aux objectifs stratégiques tels que la réduction des coûts, la croissance des revenus, la gestion des risques et être en harmonie avec la stratégie d'entreprise de haut niveau (figure 18).

Figure 18. Objectifs stratégiques de la transformation numérique

I. Réduction des coûts	Tirer parti des technologies numériques de pointe et exécuter la transformation numérique pour réduire les coûts, tant d'un point de vue opérationnel, en augmentant l'efficacité des résultats, que d'un point de vue d'entreprise, en diminuant les frais généraux et les intrants.
II. Croissance des revenus	Tirer parti des technologies numériques de pointe et exécuter la transformation numérique pour soutenir la croissance des revenus, en élargissant l'accès au marché, en augmentant l'innovation en matière de procédés et de produits, et en améliorant la capacité de production par unité.
III. Gestion des risques	Tirer parti des technologies numériques de pointe et exécuter la transformation numérique pour mieux gérer les risques opérationnels, d'entreprise et de marché, notamment en réduisant les erreurs et en améliorant la qualité, en fidélisant les clients et en améliorant la sécurité au travail.
IV. Alignement stratégique	Tirer parti des technologies numériques de pointe et exécuter la transformation numérique dans la poursuite d'une vision d'entreprise à long terme et de la planification stratégique d'entreprise, notamment en ce qui concerne des facteurs tels que l'accès au marché, l'innovation, le développement de la main-d'œuvre, les ressources humaines et la rentabilité.

Figure 19. Intrants d'investissement dans la transformation numérique

Catégorie	Investissements/dépenses	Exemples
Technologie numérique et équipements	Robotique (cobots et robots industriels)	Cobot UR10, ABB GoFa, OTTO AMR
	IdO/capteurs	Capteurs, contrôleurs, étiquettes RFID, caméras à vision artificielle
Infrastructure numérique	Réseau et connectivité	Ethernet industriel, 4G/5G, spectre LNCL d'ISDE ⁷
	Programme de cybersécurité (TI/TO)	Pare-feu, SIEM, protection des points de terminaison, essais d'intrusion
	Abonnements aux services en nuage	AWS, Microsoft Azure, Google Cloud
Licences de logiciels	Plateformes IdO/IldO	ABB Ability, Siemens MindSphere, GE Predix
	Plateformes de mégadonnées/IA	Dassault Systèmes DELMIA Apriso, Databricks
	Plateformes de cybersécurité (TI/TO)	Microsoft Defender, Splunk, FortiGuard OT Security Service
	Système ERP en nuage/hybride	Microsoft Dynamics 365, Rootstock Cloud ERP
	Systèmes de gestion de la qualité	eQMS, QMS, SAP Quality Management
	Systèmes de gestion du cycle de vie des produits	Dassault 3DEXPERIENCE, Siemens Teamcenter
	Outils de gestion de la configuration	Autodesk Fusion Manage, SolidWorks PDM, Git
	Plateformes sécurisées de partage de dossiers	Exostar, OpenText CoreShare, MOVEit
	Maintenance, réparation, révision (MRO)	Ramco MRO, Veyon MRO, Trax
Ressources humaines et développement de la main-d'œuvre	Formation/développement de la main-d'œuvre	Formation des employés, mentorat/encadrement technique
	Recrutement de talents numériques	Recrutement sur campus, participation aux programmes coopératifs
	Gestion du changement	Communications internes, consultants
	Gestion des RH	Négociations syndicales, changement des descriptions de poste

Note : les applications logicielles et les plateformes matérielles mentionnées dans ce tableau sont des exemples illustratifs et ne doivent pas être interprétés comme des appuis ni comme des recommandations aux fins d'approvisionnement

Les investissements requis incluront des coûts de base tels que les nouvelles technologies et les nouveaux équipements, l'infrastructure numérique sous-jacente, les licences logicielles, ainsi que les coûts indirects, tels que la formation et le développement de la main-d'œuvre, la gestion du changement et les questions de RH (figure 19).

La figure 20 présente un cadre de rendement du capital investi (RCI) pour l'adoption des technologies numériques dans une entreprise manufacturière. Ce cadre de RCI est classé en différentes catégories de bénéfices, notamment l'efficacité opérationnelle, la productivité de la main-d'œuvre et du capital, l'accès au marché,

l'innovation, la santé et la sécurité, et les facteurs ESG (environnementaux, sociaux et de gouvernance), et est recoupé par les objectifs stratégiques de transformation numérique évoqués ci-dessus.

Les calculs détaillés du RCI seront propres à chaque fabricant, y compris les combinaisons spécifiques de technologies numériques et leurs cas d'utilisation connexes, le cadre RCI présenté étant destiné à aider les fabricants à naviguer dans les évaluations du RCI et le développement d'analyses de rentabilité. Comme la matrice des cas d'utilisation, le cadre RCI est destiné à être illustratif plutôt qu'exhaustif.

⁷ Innovation, Sciences et Développement économique Canada (gouvernement du Canada), « Licences non concurrentielles locales (LNCL) », dernière mise à jour le 19 février 2026, <https://ised-isde.canada.ca/site/gestion-spectre-telecommunications/fr/licences-certificats/licences-non-concurrentielles-locales-ncl>.

Figure 20. Cadre RCI d'adoption des technologies numériques de pointe

Bénéfices		Indicateurs de RCI	Alignement des objectifs			
Types de bénéfices	Bénéfices potentiels	Exemples de mesures	Réduire les coûts	Accroître les revenus	Gérer les risques	Alignement stratégique
Gains opérationnels	Production accrue	% d'augmentation des produits finis par heure		X		X
	Respect de la planification	% de diminution des variations de planification	X		X	
	Réduction du gaspillage de matières premières	% de réduction des déchets de matières premières	X			
	Réduction des erreurs	% de réduction du taux d'erreur	X		X	
Productivité de la main-d'œuvre	Automatisation des tâches	Nbre d'heures de travail économisées	X			
	Redéploiement de la main-d'œuvre	% du rôle révisé pour des tâches de plus grande valeur	X	X		X
	Renforcement de l'engagement des employés	% d'augmentation de l'engagement des employés				
	Réduction de l'absentéisme	% de diminution des heures d'absence	X		X	
Productivité du capital	Utilisation des équipements	% d'augmentation de l'utilisation des équipements	X			
	Flexibilité de la chaîne/cellule de production	% de réduction du temps de réoutillage de la ligne/cellule	X			X
	Réduction des temps d'arrêt des équipements	% de réduction du temps d'arrêt des équipements	X			
	Efficacité de l'investissement en capital	% d'augmentation du BAIIA par dollar d'immobilisations corporelles (PP&E)	X			X
Accès au marché	Nouveaux clients	Nbre de nouveaux contacts		X		X
	Développement commercial efficace	% du taux de soumissions victorieuses pour les nouveaux contacts	X	X		
	Fidélisation des clients	% des clients existants conservés	X	X	X	X
	Liens avec les capacités numériques	% des appels d'offres nécessitant des capacités numériques		X		X
Innovation	Temps réduit d'itération des produits	% de réduction du temps nécessaire pour itérer la conception	X	X		X
	Projets pilotes numériques lancés	Nbre de nouveaux projets pilotes d'adoption des technologies numériques			X	X
	Temps de développement du prototype	% de réduction du temps de développement de prototypes	X			X
	Réduction du temps de mise en marché	Nbre de semaines de mise en marché réduites	X	X		
Santé et sécurité	Réduction des incidents de temps perdu	% de réduction des incidents de temps perdu	X		X	
	Réduction des blessures dues à la contrainte répétitive	% de réduction des blessures dues à la contrainte répétitive	X		X	
	Traçabilité plus rapide des produits	% de réduction des analyses de causes profondes	X		X	
	Primes réduites pour accidents du travail	% de réduction des primes pour accidents du travail	X		X	
Mesures ESG	Empreinte carbone réduite	% de réduction de l'empreinte carbone	X		X	X
	Amélioration de l'efficacité énergétique	% de réduction de la consommation d'électricité de l'installation	X		X	X
	Apports de matériaux réduits	% de réduction de l'apport de matériau par unité	X		X	X
	Réduction de la consommation d'eau	% de réduction de l'utilisation d'eau de l'installation	X		X	X



Liste de contrôle de la gestion du changement

L'adoption des technologies numériques dans les opérations de fabrication existantes nécessite une planification attentive de la gestion du changement. En investissant du temps et des ressources dans une stratégie de gestion du changement en soutien à la transformation numérique, il est possible de multiplier par sept les chances qu'un projet atteigne ses objectifs, tout en produisant un RCI de 3:1 à 7:1, selon le livre blanc de 2025 de Culture Partners⁸. De même, un engagement précoce dans la gestion du changement peut augmenter le RCI du projet de 40 à 60 %⁹.

Les plans de gestion du changement soutenant les initiatives d'adoption des technologies numériques doivent inclure un commanditaire du projet, définir les rôles et responsabilités, identifier un champion pour diriger le changement, inclure la planification des communications internes et externes, ainsi qu'un plan de formation du personnel. Les plans doivent également inclure des boucles de rétroaction préétablies, telles que des portails de commentaires, des enquêtes et des séances de discussion ouverte pour le personnel.

Enfin, ils devraient inclure des échéanciers et des objectifs mesurables assurant le suivi des progrès, des dispositions célébrant les réussites obtenues, ainsi que des options assurant l'expansion des projets pilotes efficaces à des projets de transformation numérique plus vastes. La figure 21 ci-dessous présente une liste de contrôle de la gestion du changement à utiliser dans les initiatives d'adoption des technologies numériques.

Figure 21. Liste de contrôle de la gestion du changement dans l'adoption des technologies numériques

I. Phase préalable à la mise en œuvre :

- › Assurer l'engagement des dirigeants et établir une vision claire de la transformation numérique.
- › Réaliser une évaluation complète des compétences et définir les besoins de formation.
- › Mettre en place une équipe de projet dédiée avec des représentants de tous les départements concernés.
- › Élaborer un plan de communication en tenant compte des préoccupations et des bénéfices pour toutes les parties prenantes.
- › Définir les indicateurs de réussite et établir des mesures de référence pour le suivi du RCI.

II. Phase de mise en œuvre :

- › Exécuter des projets pilotes sur la technologie avec une portée réduite et gérable avant le déploiement complet.
- › Offrir de la formation pratique à tous les utilisateurs, avec une attention particulière aux employés de production.
- › Mettre en place des mécanismes de rétroaction et des suivis réguliers avec l'équipe de mise en œuvre.
- › Traiter la résistance de manière proactive par l'engagement et la communication transparente.
- › Documenter les leçons apprises et ajuster l'approche en fonction des résultats des projets pilotes.

III. Phase postérieure à la mise en œuvre :

- › Mesurer les résultats selon des indicateurs de réussite établis et un cadre de RCI.
- › Célébrer les premières victoires obtenues et reconnaître les contributions de l'équipe pour créer de l'élan.
- › Établir des processus d'amélioration continue pour une optimisation continue.
- › Planifier la mise à l'échelle des mises en œuvre réussies dans d'autres installations ou procédés.
- › Mettre à jour les programmes de formation en fonction de l'expérience réelle et de la rétroaction des utilisateurs.

⁸ Culture Partners, « Change Management ROI: Measuring Financial Returns and Business Impact », 10 juin 2025, <https://culturepartners.com/insights/change-management-roi-measuring-financial-returns-and-business-impact/>.

⁹ Ibid.



Points de contrôle des phases de la transformation numérique

Lors de la transformation numérique des entreprises manufacturières, on peut soutenir le plan de gestion du changement en structurant le changement à l'aide de points de contrôle pour les phases, lesquels sont adaptés à l'échéancier de transformation numérique décrit précédemment dans ce document.

Par exemple, si un fabricant aérospatial souhaitait adopter une suite de capteurs IdO pour ses équipements de production, le point de contrôle 1 pourrait vérifier si l'équipement est compatible avec les nouveaux capteurs et si la zone où se trouve la cellule de production dispose de la connectivité requise pour que les capteurs transmettent les données vers une base de données en nuage et si des mesures de cybersécurité des TO peuvent être mises en place pour couvrir ce nouvel ensemble de capteurs.

Le point de contrôle 2 servirait à vérifier si les nouveaux capteurs IdO peuvent saisir correctement les données sur une période de temps et si ces données peuvent fournir

à la direction des informations sur l'état du processus de production. Une fois le point de contrôle 2 vérifié, les fabricants devraient valider financièrement le projet pilote afin de mesurer le RCI et le respect des objectifs stratégiques (c'est-à-dire la réduction des coûts, la croissance du chiffre d'affaires, la gestion des risques et l'alignement stratégique à long terme). La validation financière intermédiaire aide les entreprises à réduire le risque de chuter en raison de coûts irrécupérables.

Le point de contrôle 3 inclurait la formation des opérateurs de tous les employés de production et ingénieurs, tandis que le point de contrôle 4 inclurait l'expansion de l'initiative d'adoption technologique et l'ajout de capteurs IdO aux autres secteurs des installations de production. La figure 22 présente une approche progressive de points de contrôle de phases pour la transformation numérique dans la fabrication, incluant des exemples illustratifs pour chacune des sept technologies numériques abordées dans cette feuille de route.

Figure 22. Points de contrôle des phases de la transformation numérique – Fabrication aérospatiale

Technologies numériques	Point de contrôle 1 - Contrôle de la préparation technique	Point de contrôle 2 - Projet pilote validé	Étape de validation financière intermédiaire	Point de contrôle 3 - Main-d'œuvre formée	Point de contrôle 4 - Intégration approuvée
IA/AA	Identifier le cas d'utilisation (p. ex., maintenance prédictive).	Projet pilote de modèle d'IA sur une seule chaîne de production	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Former les techniciens de la maintenance à interpréter les extrants.	Déploiement dans les installations
Analyse de mégadonnées	Veiller à mettre en place une infrastructure de saisie de données.	Projets pilotes de tableaux de bord pour l'analyse des causes profondes	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Former les analystes des données et les membres des équipes de production.	Évoluer vers la prise de décision au niveau de l'entreprise.
Informatique en nuage	Évaluer les solutions/options en nuage des fournisseurs.	Projet pilote de MES/ERP en nuage en version d'essai	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Donner de la formation au personnel et aux responsables des TI sur le nouveau système.	Migrer complètement les flux de travail vers les systèmes MES/ERP en nuage.
Cybersécurité (TI/TO)	Évaluation de la sécurité de base	Projet pilote de système de détection d'intrusion	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Donner de la formation au personnel sur les protocoles cybernétiques.	Certifier la conformité à l'échelle de l'entreprise.
Jumeaux numériques	Développer un jumeau numérique pour une pièce d'équipement d'usinage.	Valider le jumeau par rapport au rendement réel.	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Donner de la formation au personnel de production et aux ingénieurs à l'aide de simulations.	Passer aux jumeaux numériques de lignes ou d'installations.
Capteurs / IdO	Installer des capteurs sur une cellule d'usinage.	Valider l'amélioration des extrants / des économies de temps d'arrêt.	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Donner de la formation au personnel de production et aux ingénieurs sur l'utilisation de la nouvelle technologie.	Expansion à l'échelle des installations de production
Robotique	Évaluer la préparation des cobots/robots pour les tâches de production.	Projet pilote de cobot pour le polissage des pièces	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Donner de la formation à l'équipe de production sur la sécurité et le travail de collaboration avec les cobots.	Intégrer la robotique à plusieurs cellules de polissage.



Gestion des risques

Comme pour toute nouvelle initiative, le risque et l'incertitude font partie intégrante du changement et doivent être pris en compte dans les plans d'un projet. La figure 23 ci-dessous fournit un exemple de registre des risques. De tels outils peuvent être utilisés pour documenter et spécifier les risques liés à l'adoption des technologies et à la transformation numérique.

Figure 23. Exemple de registre des risques pour la transformation numérique dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale

Catégorie de risque	Risque spécifique	Impact	Probabilité	Stratégies d'atténuation possibles
Technique	Échecs de l'intégration	Majeur	Moyenne	Pilotes/essais, partenariats avec les fournisseurs
	Vulnérabilités de cybersécurité	Majeur	Moyenne	Cadre de sécurité, audits, réponse
	Compatibilité avec systèmes existants	Moyen	Élevée	Évaluation, intergiciel, migration
Financier	Dépassements de coûts	Majeur	Moyenne	Mise en œuvre par phases, indicateurs de RCI
	RCI négatif	Moyen	Moyenne	Suivi des indicateurs de RCI
Ressources humaines	Lacunes en compétences numériques	Majeur	Élevée	Formation, recrutement axé sur les compétences numériques
	Résistance de la main-d'œuvre	Moyen	Moyenne	Contribution des employés
Opérationnel	Interruptions de production	Majeur	Moyenne	Opérations parallèles, temps d'arrêt programmé
	Perturbations de la chaîne d'approvisionnement	Majeur	Élevée	Approvisionnement multirégion, accumulation de stocks
Risque lié aux fournisseurs	Problèmes de fiabilité des fournisseurs technologiques	Moyen	Moyenne	Fournisseurs multiples, ANS, plans de secours
	Mise sous-clef d'un fournisseur	Majeur	Moyenne	Normes ouvertes, portabilité, stratégie de sortie
Marché et risque externe	Changements réglementaires/politiques	Moyen	Moyenne	Surveillance, conformité flexible
	Pression concurrentielle	Majeur	Moyenne	Surveillance du marché, stratégie agile
	Échec de l'audit de contrôle des exportations	Majeur	Faible	Incorporer les règles de contrôle des exportations au système ERP



Scénarios déclencheurs de gestion des risques

Outre la liste des risques visant à soutenir la transformation numérique de l'entreprise, des scénarios déclencheurs peuvent être utilisés comme outils de gestion des risques. Les scénarios déclencheurs sont des indications qu'un risque est en cours ou qu'il existe une probabilité accrue que ce risque survienne. La figure 24

ci-dessous présente des scénarios déclencheurs illustratifs avec des indicateurs d'alerte précoce et des actions suggérées, et explique aux fabricants du secteur aérospatial comment déterminer si un risque augmente et comment prendre des mesures rapides pour atténuer ce risque.

Figure 24. Exemples de scénarios déclencheurs dans la fabrication aérospatiale

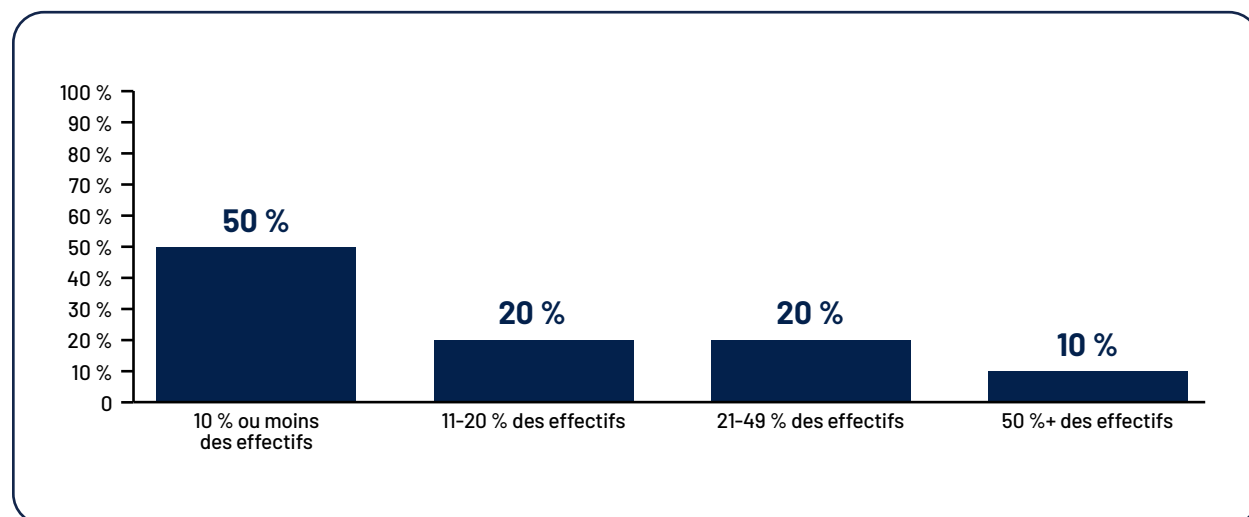
Scénario déclencheur	Indicateur d'alerte précoce	Actions potentielles
I. Normes de cybersécurité mises en place dans le secteur aérospatial/défense (p. ex., Canada : PCCC, États-Unis : CMMC 2.0)	Appels à la consultation sectorielle/ industrielle, changements à venir mentionnés lors d'événements sectoriels, directives sur les questions d'associations industrielles.	Mettre à jour la pile de cybersécurité TI/ TO pour répondre aux nouvelles normes; travailler avec l'équipe de conformité/ juridique pour interpréter les normes à venir; collaborer avec les régulateurs lors des consultations ou appels à commentaires.
II. Un fournisseur clé montre des signes de détresse financière.	Livraisons en retard, baisse de qualité, rétrogradation de la note de crédit.	Identifier des fournisseurs de remplacement; constituer des stocks tampons; effectuer une planification d'urgence.
III. Le roulement de personnel augmente dans les métiers qualifiés et de production.	Augmentation de la dépendance aux heures supplémentaires, entretiens de départ invoquant l'insatisfaction au travail.	Mettre en place des mesures de rétention; accélérer la formation croisée; ajuster les plans d'embauche; accroître le recrutement sur campus auprès des nouveaux diplômés.
IV. Baisse de la fiabilité des équipements.	Augmentation des temps d'arrêt imprévus ou appels de maintenance répétés.	Lancer un projet pilote de maintenance prédictive; exécuter des analyses des causes profondes des temps d'arrêt; prioriser le calendrier de remplacement de l'investissement en capital.
V. La demande des clients évolue soudainement.	Baisse des commandes fermes ou des demandes de nouvelles configurations de produits.	Réévaluer le plan de production; explorer l'utilisation de jumeaux numériques de produits; augmenter l'utilisation de l'automatisation flexible.



Talents, développement de la main-d'œuvre et formation

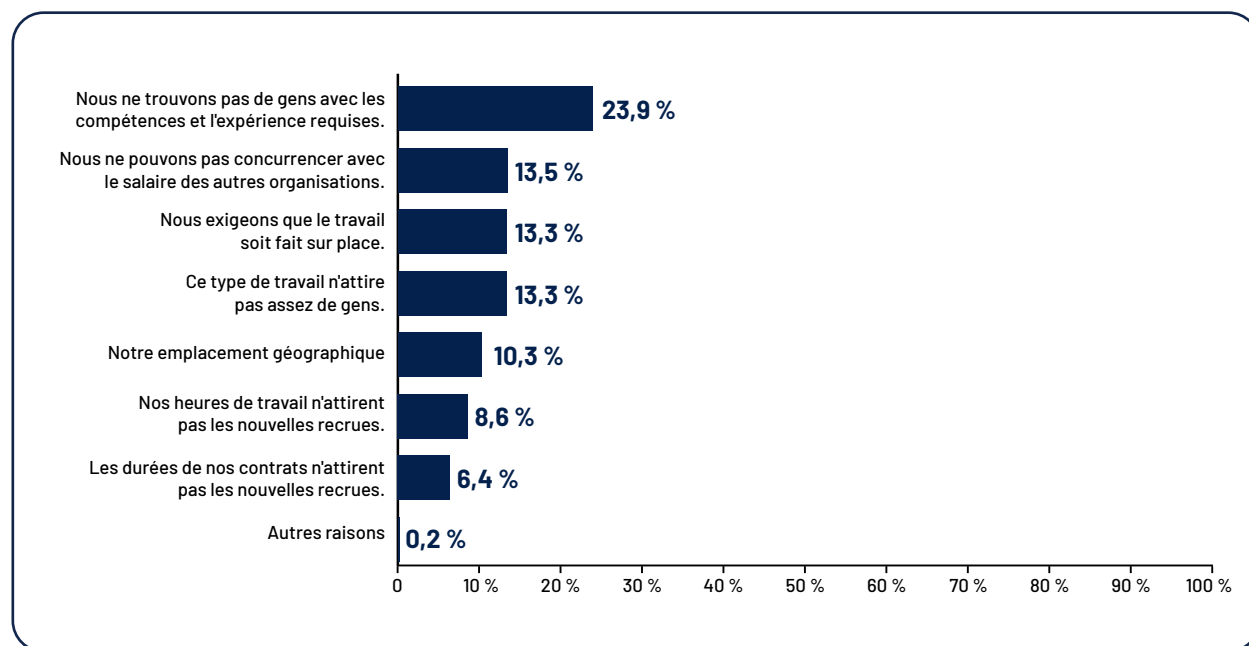
Il est essentiel de développer une main-d'œuvre manufacturière qualifiée sur le plan numérique pour réaliser pleinement le potentiel de la transformation numérique dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale. Il existe un besoin important d'accroître la proportion de la main-d'œuvre qui sert de moteur à la transformation numérique dans la fabrication aérospatiale. L'enquête du CTIC de 2025 sur l'adoption des technologies numériques dans le secteur canadien de la fabrication a révélé que 50 % des fabricants de produits aérospatiaux interrogés consacraient moins de 10 % de leurs effectifs à la transformation numérique (figure 25).

Figure 25. Main-d'œuvre dédiée à la transformation numérique chez les fabricants canadiens de produits aérospatiaux (2025)



Source : Enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC, 2025.

Figure 26. Défis des employeurs canadiens pour le recrutement d'employés technologiques au cours des 12 derniers mois



Source : Enquête auprès des employeurs sur l'économie numérique de 2024 du CTIC.

La concurrence est immense pour le recrutement de talents numériques dans des secteurs adjacents à la fabrication — tels que les infrastructures, l'énergie, les ressources naturelles et la technologie. En effet, le recrutement de travailleurs technologiques possédant la combinaison requise de compétences et d'expérience était le principal défi de recrutement rencontré par les employeurs à travers le Canada, selon l'enquête auprès des employeurs sur l'économie numérique de 2024 du CTIC (figure 26)¹⁰.

En plus de recruter et de retenir des talents numériques qualifiés pour stimuler l'adoption numérique dans le secteur canadien de la fabrication aérospatiale, il existe d'importantes possibilités d'investissement dans des programmes de perfectionnement et de rééducation professionnels pour la main-d'œuvre existante.

Les fabricants adoptant les technologies numériques dans leurs opérations dans le cadre d'une transformation numérique doivent veiller à ce que leurs effectifs disposent des compétences numériques essentielles de base. Cela inclut les compétences numériques en fabrication de pointe indiquées à la figure 27.

¹⁰ Maryna Ivus, Todd Legere, Christopher Lindstrom, Sheldon Lopez et Faun Rice, « Poulx de l'économie numérique : tendances en matière de productivité et d'emploi au Canada, Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC), 2025, <https://ictc-ctic.ca/fr/rapports/poulx-de-leconomie-numerique-tendances-en-matiere-de-productivite-et-emploi-au-canada>, 22, figure 9.

Figure 27. Compétences numériques de base pour la fabrication de pointe

Interaction robotique de pointe	Sécurité et productivité en interagissant avec la robotique de pointe dans des environnements d'usinage ou de fabrication, y compris les interactions avec les cobots.
Notions fondamentales en IA et AA	Comprendre les capacités et les limites des systèmes d'IA/AA ainsi que la manière dont les systèmes autonomes sont adoptés dans les applications de fabrication de pointe.
Applications de l'informatique en nuage	Travailler avec des systèmes de fabrication et d'entreprise en nuage comme les applications MES et ERP.
Notions fondamentales en cybersécurité	Connaissance de base de la sécurité des TI/TO dans les environnements de fabrication.
Exploitation des jumeaux numériques	Gestion et interprétation des représentations virtuelles de systèmes physiques.
Analyse et interprétation des données	Comprendre comment collecter, sélectionner, analyser et agir pour ce qui est des grands volumes de données opérationnelles.

Surtout, les fabricants de produits aérospatiaux engagés dans la transformation numérique doivent instaurer une culture d'apprentissage continu au sein de leurs équipes grâce à des stratégies organisationnelles réfléchies et à l'adoption de modèles de formation innovants pour favoriser les talents numériques¹¹.

L'apprentissage doit être structuré de manière concrète qui favorise le développement des connaissances pratiques et des compétences numériques. Les figures 28 et 29 présentent les stratégies organisationnelles et les modèles de formation qui favorisent les talents numériques en fabrication aérospatiale.

¹¹ Le Conference Board du Canada, « Bâtir une main-d'œuvre dotée de compétences numériques : réflexions des employeurs et des leaders en matière de compétences au Canada », Le Conference Board du Canada et le Centre des compétences futures, mars 2022, <https://fsc-ccf.ca/fr/recherche/building-a-digitally-skilled-workforce/>.

Figure 28. Stratégies organisationnelles favorisant les compétences numériques en fabrication de pointe

Intégrer les compétences numériques aux rôles existants	Intégrer des compétences numériques aux postes existants plutôt que de créer des postes numériques distincts.
Fournir de la reconnaissance et des incitatifs	Des systèmes de reconnaissance et d'incitatifs qui récompensent le développement des compétences numériques et le partage des connaissances.
Développer des capacités de formation à l'interne pour les compétences numériques	Investir dans des formations à l'interne pour réduire la dépendance aux fournisseurs externes.
Inclure la main-d'œuvre dans les projets pilotes	Établir une combinaison d'employés multifonctionnels dans toute l'entreprise manufacturière pour lancer des projets pilotes d'adoption technologique, et documenter les apprentissages.
Établir des partenariats de développement des talents numériques	Partenariats avec des établissements postsecondaires, des fournisseurs de technologies et d'autres acteurs de l'écosystème pour le développement continu des compétences.

Figure 29. Modèles de formation favorisant les compétences numériques en fabrication de pointe

Mentorat intergénérationnel	Associer des employés ayant des qualifications numériques à des machinistes, des soudeurs et d'autres employés de production expérimentés.
Apprentissage basé sur la simulation	Utiliser des environnements de jumeaux numériques, associés à la VR/XR, pour des expériences de formation sûres et réalistes.
Modules de micro-apprentissage	Séances de formation courtes et ciblées qui s'adaptent aux horaires de travail et de production.
Formation soutenue par les fournisseurs	Tirer parti de l'expertise des fournisseurs technologiques afin d'offrir une formation spécifique aux systèmes.
Micro-accréditations	Programmes éducatifs courts, axés sur les compétences et flexibles, souvent offerts en ligne.

Développement de partenariats stratégiques

Les fabricants aérospatiaux canadiens n'ont pas à entreprendre seuls leur parcours de transformation numérique. En effet, il existe de nombreuses organisations extérieures dans l'industrie manufacturière et le secteur public avec lesquelles les fabricants de produits aérospatiaux peuvent développer des partenariats stratégiques. Cela inclut des associations industrielles ainsi que d'autres acteurs de l'écosystème, tels que les groupes de travail industriels, des initiatives de formation dirigées par l'industrie et les incubateurs technologiques. Les établissements postsecondaires peuvent également être mis à profit pour offrir de la formation à la main-d'œuvre, un vivier de nouveaux talents, à l'aide d'initiatives d'apprentissage intégré au travail (AIT), comme les programmes d'apprentis et coopératifs, le recrutement sur les campus, ainsi que la recherche conjointe.

De même, les relations avec les parties prenantes comme les clients, fournisseurs, prestataires technologiques doivent être prises en compte lors de la transformation numérique. La figure 30 ci-dessous présente les

principaux secteurs de partenariats stratégiques et de gestion des parties prenantes, qui doivent être pris en compte lors de la transformation numérique.

Figure 30. Secteurs de partenariats stratégiques

Clients	Vendeurs et fournisseurs	Associations industrielles et groupes d'écosystèmes	Établissements postsecondaires
- Programmes de co-investissement et de partage des coûts pour la transformation numérique - Plateformes numériques ouvertes et normes de données interopérables - Protocoles conjoints de cybersécurité et d'information - Programmes pilotes conjoints de transformation numérique	- Programmes de co-investissement et de partage des coûts pour la transformation numérique - Plateformes numériques ouvertes et normes de données interopérables - Programme de formation et de mentorat/ d'encadrement technique des fournisseurs - Protocoles conjoints de cybersécurité et d'information - Initiatives de chaîne d'approvisionnement numérique des fabricants d'équipement d'origine (FEO)	- Groupes de travail industriels (p. ex., groupe de travail conjoint sur la transformation numérique) - Programmes d'incubateurs technologiques/de démarrage - Initiatives de formation et de développement de la main-d'œuvre menées par l'industrie - Initiatives sectorielles en affaires publiques et relations gouvernementales	- Formation de la main-d'œuvre et développement des talents - Programmes AIT (p. ex., stages, stages coopératifs, formation pratique) - Recrutement sur les campus (p. ex., salons de l'emploi, soirées professionnelles) - Recherche conjointe industrielle-universitaire - Conseils consultatifs sur les programmes d'études industrielles



Partage d'informations et de données pour les partenariats stratégiques dans la fabrication aérospatiale

En plus des principaux secteurs de partenariat mentionnés ci-dessus, les fabricants de produits aérospatiaux doivent être prêts à développer conjointement des cadres et accords de partenariat prédéfinis dès le départ entre les nouveaux partenaires. La compréhension commune entre les partenaires des objectifs, de la portée et des délais du partenariat est essentielle pour favoriser la réussite des

partenariats. Les fabricants de produits aérospatiaux doivent également comprendre les types de données potentiellement sensibles et non personnelles, comme les données de production et de processus, les données financières, et les données sur la chaîne d'approvisionnement qu'ils devront peut-être partager avec les partenaires (figure 31).

Figure 31. Informations sur les partenariats stratégiques et considérations liées au partage des données

Alignement stratégique

- › Objectifs, portée et échéancier du partenariat
- › Analyse de rentabilité et attentes liées au rendement du capital investi (p. ex., indicateurs financiers/de rendement)
- › Modèle de gouvernance et processus décisionnels (p. ex., titulaires de la propriété intellectuelle, résolution des litiges)
- › Cadres de partage des connaissances (p. ex., accords de publication, ateliers conjoints, groupes d'utilisateurs, démonstrateurs technologiques, projets pilotes)

Exigences techniques en matière de données

- › Systèmes et procédés de fabrication (p. ex., systèmes d'entreprise et systèmes de contrôle (MES/ERP), inventaire de machines/équipements)
- › Connectivité des installations (p. ex., 5G, Ethernet)
- › Partage de données non personnelles (p. ex., données sur la production et les procédés, PI/ secrets commerciaux, informations sur la qualité, les finances, la sécurité et les incidents, la chaîne d'approvisionnement)
- › Données sensibles (dessins contrôlés, données techniques contrôlées par les exportations, etc.)
- › Normes d'interopérabilité et formats de données
- › Normes de cybersécurité/protection des données

Exigences de sécurité, de réglementation et de conformité

- › Normes de qualité
- › Normes de santé et sécurité
- › Normes environnementales/ESG
- › Accords de propriété intellectuelle et de confidentialité

Adoption des technologies numériques : un appel à l'action

Le secteur canadien de la fabrication aérospatiale bénéficiera grandement de l'adoption croissante des technologies numériques dans l'ensemble de l'industrie manufacturière. Le secteur joue un rôle important dans l'économie canadienne et pour la souveraineté nationale, en tant que centre important de production d'aéronefs, d'engins spatiaux et d'autres technologies spatiales.

Au cours des cinq à dix prochaines années, les technologies numériques émergentes comme la robotique de pointe, l'IA, l'IdO et les jumeaux numériques offriront de grandes possibilités, mais les infrastructures numériques doivent être continuellement mises à jour, et la main-d'œuvre de la fabrication aérospatiale doit être continuellement formée et perfectionnée pour que l'on puisse tirer le meilleur parti des technologies numériques innovantes dans les installations de production.

De même, pour tirer le meilleur parti de la transformation numérique, les entreprises de fabrication aérospatiale doivent comprendre et évaluer rigoureusement les possibilités offertes par les technologies numériques innovantes, les intégrer à leurs plans d'affaires et leurs stratégies d'entreprise à long terme, élaborer des analyses de rentabilité, mesurer le rendement du capital investi, évaluer les risques, gérer le changement organisationnel et cartographier les parties prenantes et partenaires stratégiques.

Mesures à prendre

Évaluation	Cartographier les procédés actuels et les capacités technologiques, et définir les lacunes numériques.
-------------------	--

Projet pilote	Commencer par un petit projet (p. ex., l'automatisation d'une cellule de production, la maintenance prédictive ou un outil de traitement de la documentation basé sur l'IA).
----------------------	--

Formation	Encourager la contribution du personnel dès le départ, former des champions du changement numérique dans les ateliers, recruter des talents en technologies numériques.
------------------	---

Partenariats	Collaborer avec des fournisseurs, des établissements postsecondaires, des associations industrielles et des groupes d'écosystèmes, ainsi que des clients pour acquérir de l'expertise et partager les ressources.
---------------------	---

Mise à l'échelle	Étendre les projets pilotes éprouvés à l'ensemble des cellules de production et familles de produits.
-------------------------	---

Intégration	Déployer les initiatives d'adoption technologique mises à l'échelle en une pile technologique cohérente pour stimuler la rentabilité, les économies de coûts et la productivité.
--------------------	--

Itération	Répéter le cycle d'adoption des technologies à mesure que de nouvelles technologies émergent et que les marchés évoluent.
------------------	---

Méthodes de recherche

Cette feuille de route pour le secteur canadien de la fabrication aérospatiale repose sur des méthodes de recherche mixtes comprenant une enquête sectorielle auprès des fabricants de pointe canadiens, une série d'entretiens avec des répondants clés, une table ronde industrielle et une analyse complète de la documentation.

Le CTIC a mené une enquête sectorielle auprès des fabricants canadiens (n = 133) entre juin et juillet 2025, à laquelle ont répondu 12 entreprises du secteur canadien de la fabrication aérospatiale. Compte tenu de la grande diversité des types d'entreprises actives dans le secteur de la fabrication aérospatiale – des FEO aux fournisseurs de différents niveaux – et de la taille relativement petite de l'échantillon, les données de l'enquête pourraient ne pas refléter pleinement la situation de l'ensemble des entreprises de fabrication aérospatiale. Le CTIC a également mené cinq entretiens semi-structurés avec des répondants clés, comprenant des cadres supérieurs, des dirigeants techniques et d'autres experts du secteur canadien de la fabrication aérospatiale. Le CTIC a

également organisé une table ronde sectorielle sur la fabrication aérospatiale avec des chefs de file du secteur en janvier 2026.

Avant de procéder à la collecte de données primaires, le CTIC a mené une analyse complète de la documentation sur la transformation numérique, les cas d'utilisation des technologies numériques dans la fabrication et l'état actuel de la fabrication de pointe au Canada. Les informations recueillies lors de l'analyse documentaire ont permis d'éclairer les questions posées aux participants à la recherche dans le cadre de l'enquête sectorielle, des entretiens avec les répondants clés et des groupes de discussion, ainsi que de concevoir le document final de la feuille de route.

