Feuille de route pour l'adoption des technologies numériques

Accélérer la transformation numérique dans le secteur canadien de la biofabrication

ICTC CTIC

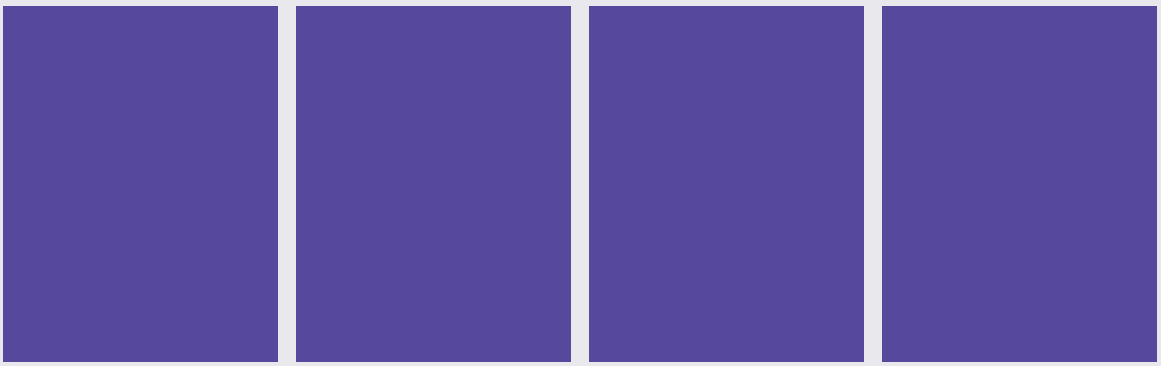
NGen

Feuille de route produite par le Conseil des technologies de l'information et descommunications (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 biofabrication. La feuille de route quinquennale détaille les étapes pratiques et les facteurs à prendre en considération pour les entreprises canadiennes de biofabrication, 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 biofabrication 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 :



Produits aérospatiaux | Automobile | 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 biofabrication - Accélérer la transformation numérique dans le secteur canadien de la biofabrication. Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC). Ottawa, Canada. Mai 2026.

Résumé

Cette feuille de route quinquennale détaille les étapes pratiques et les facteurs à prendre en considération pour l'industrie canadienne de la biofabrication, 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 biofabrication, 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 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 biofabrication 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 biofabrication;
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 biofabrication 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 biofabrication, 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 biofabrication **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 biofabrication **12**
Aperçu et contexte de l'industrie 12
Approches stratégiques pour l'adoption des technologies numériques 13
Applications technologiques en pratique 14
Comprendre le RCI et mesurer les résultats de la transformation numérique 16
Obstacles à l'adoption 17
Obstacles liés à la main-d'œuvre et aux compétences 18
Gestion des risques 19
Considérations liées à la gestion du changement organisationnel 20
Horizon d'adoption des technologies numériques **22**
Matrice des cas d'utilisation des technologies numériques dans la biofabrication **23**
Cadre de mesure du RCI **26**
Liste de contrôle de la gestion du changement **29**
Points de contrôle des phases de la transformation numérique 30
Gestion des risques **32**
Scénarios déclencheurs de gestion des risques 33
Talents, développement de la main-d'œuvre et formation **34**
Développement de partenariats stratégiques **38**
Partage d'informations et de données pour les partenariats stratégiques dans la biofabrication 39
Adoption des technologies numériques : un appel à l'action **40**
Mesures à prendre 40
Méthodes de recherche **41**

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 biofabrication, notamment par la tenue de six entretiens avec des experts et d'une table ronde avec l'industrie. Des représentants d'entreprises de biofabrication, des fournisseurs de technologies numériques spécialisés dans l'industrie de la biofabrication, des consultants et d'autres experts ont tous contribué à cette feuille de route.

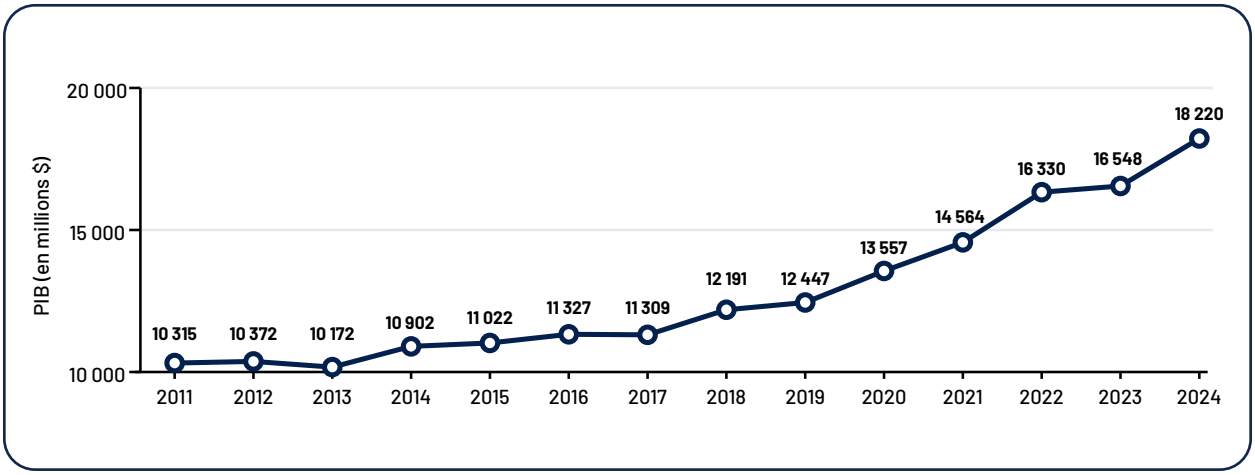
Le CTIC et NGen remercient toutes les personnes qui ont consacré du temps et leur réflexion à la production de ce document, y compris les personnes et les organisations suivantes qui ont accepté que leurs noms soient mentionnés :

- **Christopher J. Barbosa,** Ph. D., vice-président, Développement technologique, Acuitas Therapeutics, Inc.
- **John Preece,** responsable du développement sectoriel, Sciences de la vie, Ville de Toronto
- **Kulbir Colin Singh Dhillon,** directeur général, The Centre for Designing Change (CDC)
- **Nick Raddatz,** responsable de compte international, Apera
- **Robert Merson,** responsable de projet, CCRM/OmniaBio
- **Stephanie Willerth,** PDG, AxolotI Biosciences
- **Wenjie Yang,** responsable de la chaîne d'approvisionnement, B-Temia 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. Cependant, le secteur de la recherche en sciences de la vie, des produits pharmaceutiques et des médicaments, dans lequel se situe la biofabrication, n'a pas souffert de ces mêmes vents contraires et a connu une croissance soutenue ces dernières années (figure 1). En effet, le Canada bénéficie grandement d'une capacité souveraine de biofabrication productive et innovante.

Figure 1. Valeur du PIB de l'industrie de la biofabrication (2011-2024)



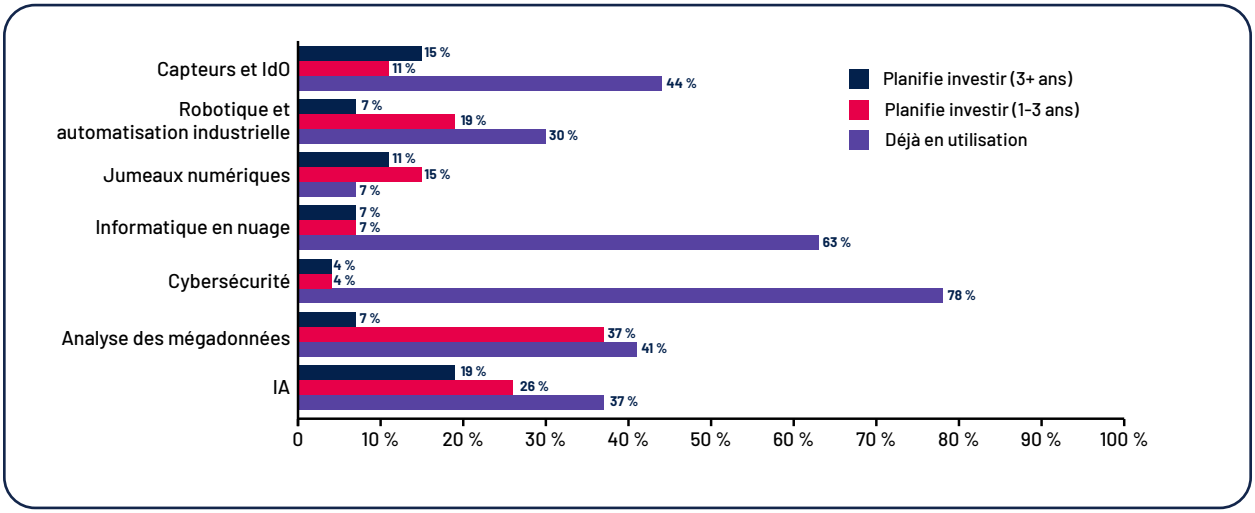
Source des données : Statistique Canada, tableau : 36-10-0434-06 (SCIAN 32541 et 54171)[1].

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. La promotion de la préparation numérique dans l'ensemble du secteur a des incidences importantes pour la sécurité sanitaire canadienne et la résilience de son système de santé.

Les entreprises de biofabrication canadiennes peuvent augmenter la 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 des technologies numériques essentielles, notamment l'informatique en nuage, la cybersécurité, ainsi que les capteurs et la technologie IdO, sont déjà largement utilisées (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=36100434 06&request_locale=fr.

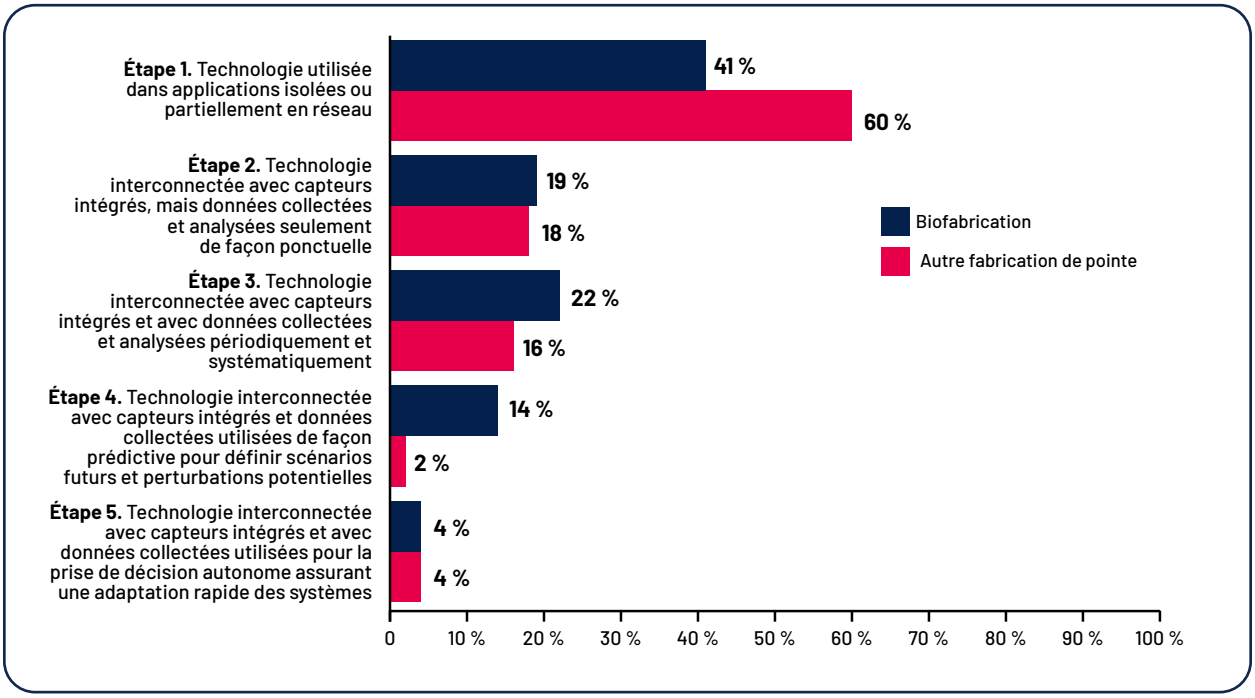
Figure 2. Adoption des technologies numériques dans le secteur canadien de la biofabrication (2025)



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 biofabrication, l'enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC a révélé que 41 % des entreprises de biofabrication utilisaient la technologie numérique de manière fragmentaire, sous forme d'applications isolées ou partiellement en réseau, que 19 % employaient les technologies numériques interconnectées, mais n'analysaient que les données collectées de manière ponctuelle, tandis que 22 % employaient les technologies numériques interconnectées et analysaient régulièrement et systématiquement les données collectées. De plus, 14 % ont utilisé les données collectées à partir de capteurs en réseau pour l'analyse prédictive et seulement 4 % pour soutenir la prise de décision autonome dans les opérations de biofabrication (figure 3).

Figure 3. Phase de mise en œuvre des technologies numériques de pointe dans le secteur canadien de la biofabrication (2025)



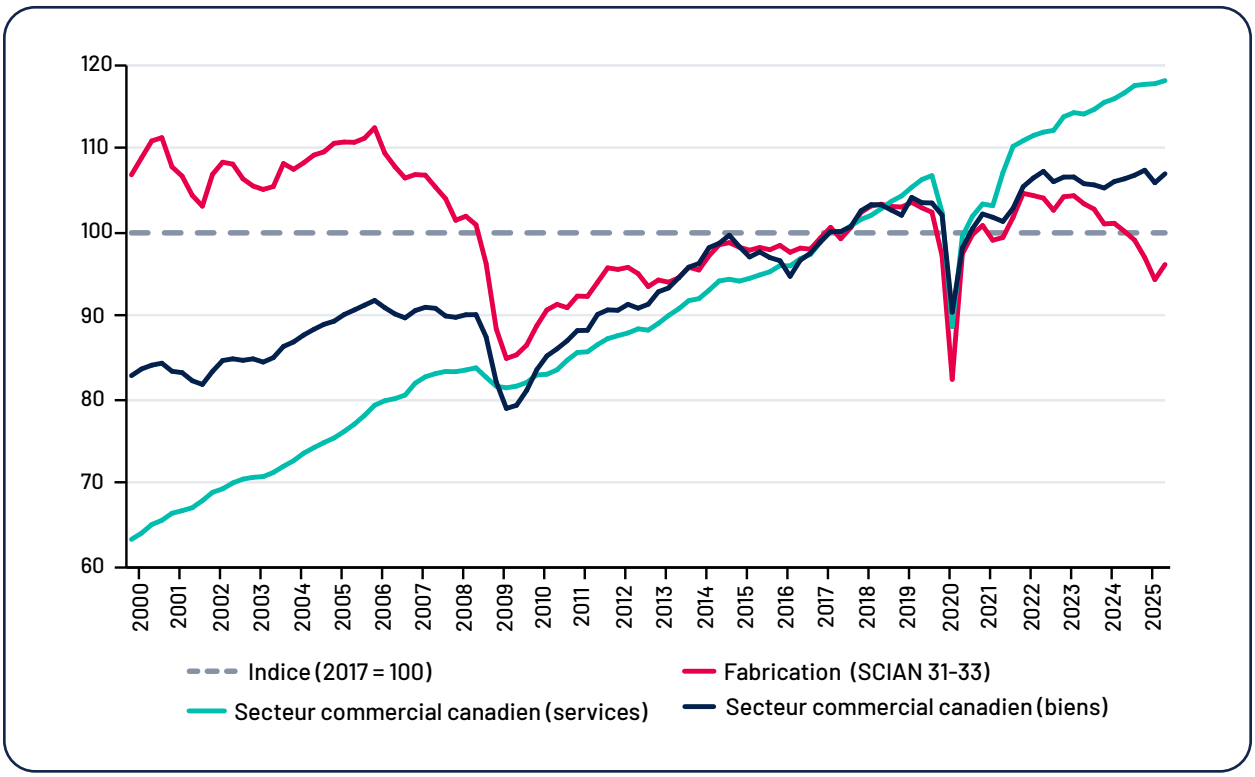
Source : Enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC, 2025.

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 canadienne[2].

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 biofabrication 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 synthétique 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 des données : Statistique Canada, tableau : 36-10-0207-01[3].

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 biofabrication

Étant donné que l'ensemble du secteur canadien de la fabrication, y compris le secteur canadien de la biofabrication, 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.

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 biofabrication, 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 des données : 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 biofabrication 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.

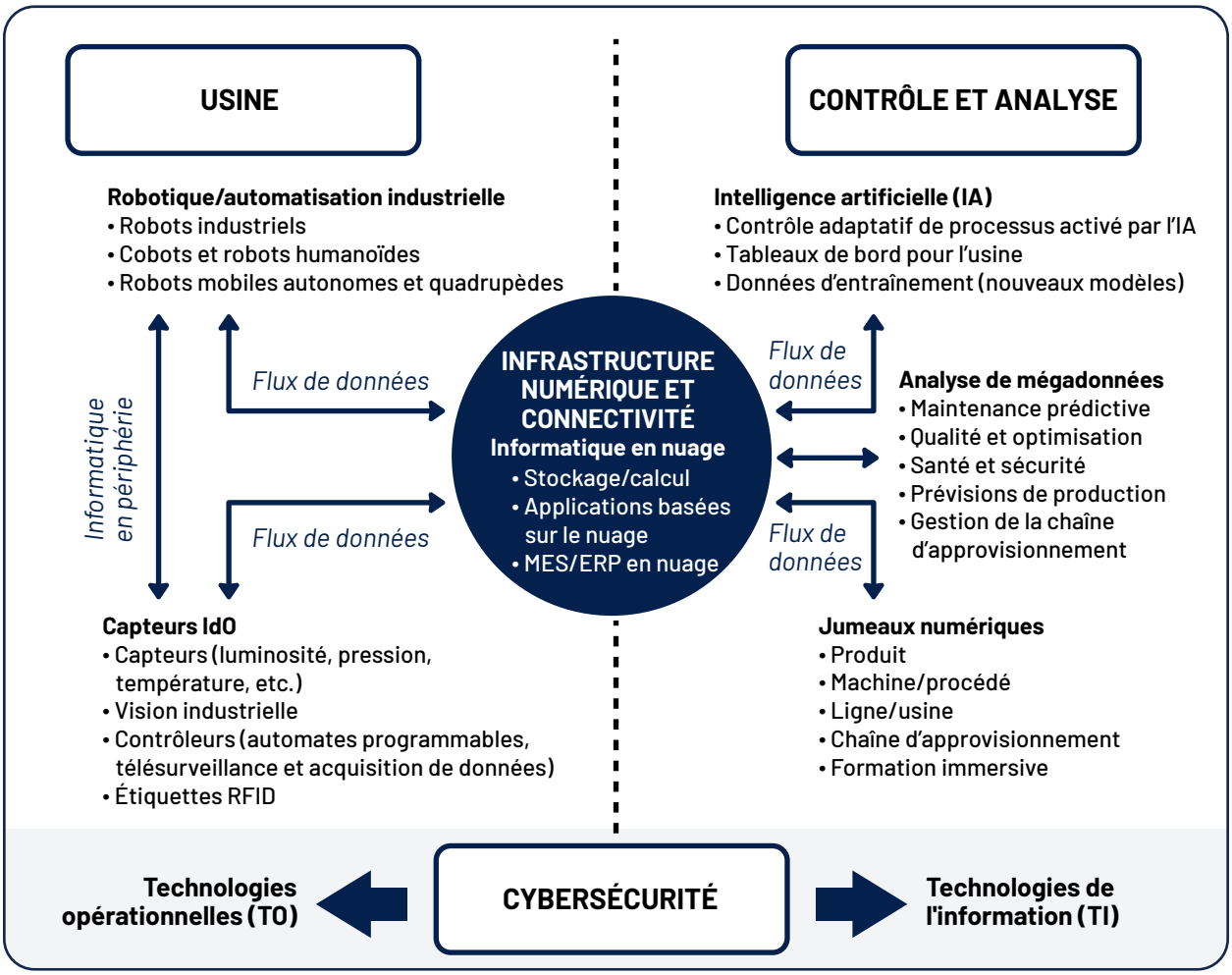
Bien que chacune des sept technologies numériques abordées dans cette feuille de route aurait, à elle seule, des conséquences sur la fabrication de pointe au Canada, l'interaction entre ces sept technologies produit véritablement un plus grand impact. Ces sept technologies peuvent être connectées numériquement pour une opération de biofabrication 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 dans les produits et de réactivité au marché.

Par exemple, les capteurs déployés dans une opération de fabrication, sur des robots industriels et d'autres machines, 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. Ces données peuvent être utilisées pour créer des jumeaux numériques de pièces de machinerie et robots individuels, de procédés de fabrication, de produits, voire de l'ensemble d'une entreprise manufacturière.

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 à l'usine et dans l'ensemble d'une entreprise du secteur de la biofabrication.

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, la plupart des entreprises canadiennes de biofabrication n'ont pas atteint ce niveau d'intégration. Les entreprises canadiennes de biofabrication interrogées 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 des données : 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 le secteur canadien de la fabrication, 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 entreprises de biofabrication 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'elles puissent tirer la pleine valeur de l'investissement et tirer le meilleur parti des technologies.

Un calendrier progressif de cinq ans offre aux entreprises de biofabrication, y compris celles qui entreprennent pour la première fois un projet de transformation numérique, un calendrier réaliste et efficace d'adoption des technologies numériques. 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. Les exigences réglementaires peuvent influencer le rythme des entreprises biomanufacturières qui adoptent pour la première fois de nouvelles technologies numériques dans leurs opérations.

Outre la mise en place et l'adoption de nouvelles technologies numériques au laboratoire et dans les installations de production, les entreprises de biofabrication doivent également former leur personnel, adapter leurs politiques de ressources humaines (RH) et leurs stratégies de recrutement aux efforts de transformation numérique, et proposer des formations à leur personnel actuel. De plus, toutes les initiatives visant à adopter les technologies numériques ne porteront pas nécessairement leurs fruits. Les entreprises de biofabrication doivent aussi gérer efficacement les risques lorsqu'elles intègrent de nouvelles technologies numériques dans leurs processus de fabrication.

Étude de cas

Adoption des technologies numériques dans le secteur canadien de la biofabrication

Les entreprises canadiennes de fabrication biomédicale traversent un profond changement technologique, qui redéfinit non seulement les thérapies qu'elles développent, mais aussi la manière dont ces thérapies sont conçues, validées et produites. Puisque les technologies numériques de pointe révolutionnent la façon dont les procédés de fabrication sont gérés et perfectionnés, certaines possibilités d'avancées significatives peuvent être mises à profit en matière d'efficacité, de rentabilité, de qualité, de production et d'innovation dans la biofabrication.

Cette étude de cas rassemble des perspectives d'entreprises œuvrant dans l'écosystème biomédical, allant des fabricants de thérapies cellulaires de pointe aux innovateurs émergents en bioimpression et aux développeurs d'ARNm — chacun opérant dans différents segments de l'écosystème canadien de la biofabrication.

Aperçu et contexte de l'industrie

La biofabrication s'entend de la production de produits biologiques tels que les vaccins et les thérapies cellulaires à l'échelle et à la qualité requises pour un usage humain[4]. La biofabrication est devenue un outil important dans les avancées biotechnologiques ainsi que dans la recherche et le développement de produits pharmaceutiques[5]. L'industrie canadienne de la biofabrication est stratégiquement positionnée à l'intersection des secteurs de la fabrication de pointe et des services de santé, et elle constitue l'épine dorsale de la production à grande échelle de produits pharmaceutiques et thérapeutiques. Alors que le Canada navigue dans une économie mondiale difficile, l'industrie de la biofabrication contribue de façon importante à la création d'emplois à forte valeur, à l'innovation et à la force économique à long terme du pays.

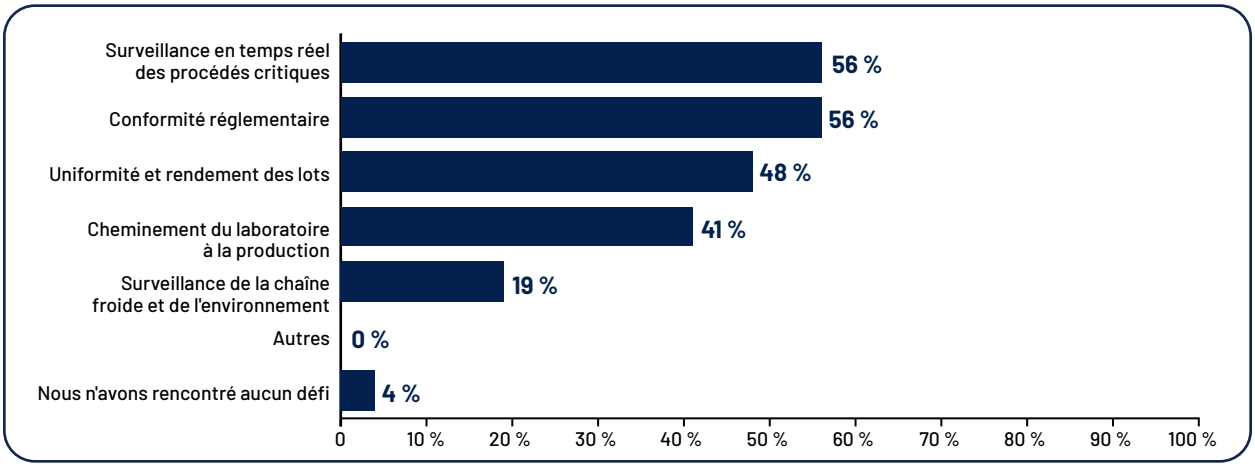
Le secteur biomanufacturier canadien est composé de diverses entreprises, y compris des entreprises commerciales matures et des organisations contractuelles de fabrication et de développement, ainsi que des entreprises cliniques précoces et des entreprises en phase précoce de démarrage. Ainsi, les priorités d'adoption des technologies numériques peuvent varier selon la maturité de l'entreprise et le stade de développement.

La transformation numérique des entreprises de biofabrication est nécessaire pour résoudre des problèmes commerciaux concrets, notamment la surveillance en temps réel des procédés critiques, la conformité réglementaire, l'uniformité et le rendement des lots, le cheminement de la recherche en laboratoire vers la production commerciale, ainsi que la surveillance de la chaîne froide et de l'environnement (figure 8).

4 Megan Levings et Robert A. Holt, « Why Canada's next big infrastructure investment should be in biomanufacturing », The Conversation, 21 octobre 2025, https://theconversation.com/why-canadas-next-big-infrastructure-investment-should-be-in-biomanufacturing-254377.

5 Sibylle Gaisser et Michael Nusser, « Stellenwert der Biotechnologie in der pharmazeutischen Wirkstoffentwicklung », [Le rôle de la biotechnologie dans la conception de médicaments pharmaceutiques], Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen, (2010), 104 (10), 732-737, https://doi.org/10.1016/j.zefq.2010.05.001.

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



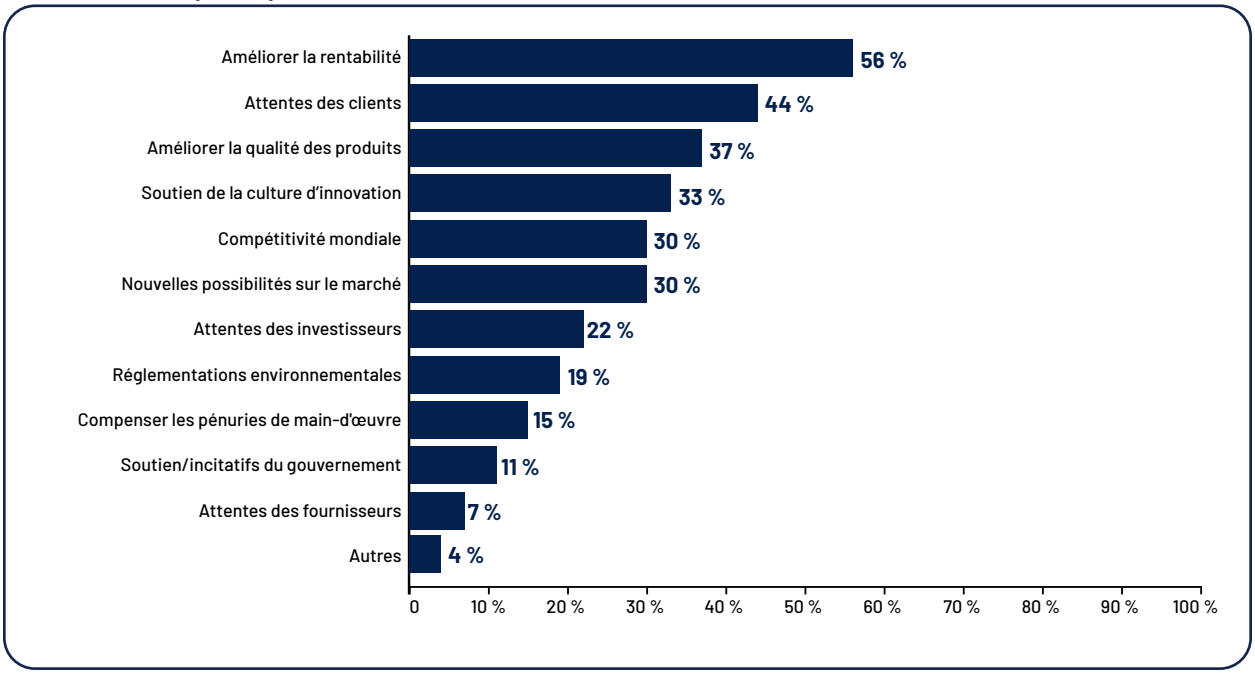
Source : Enquête canadienne sur l'adoption des technologies numériques de fabrication du CTIC, 2025.

Approches stratégiques pour l'adoption des technologies numériques

Pour les entreprises canadiennes de biofabrication, l'adoption numérique est largement considérée comme essentielle pour qu'elles continuent d'être compétitives et de répondre à la demande du système de santé pour des traitements vitaux. Lorsqu'elles sont déployées stratégiquement, les technologies numériques peuvent modifier les structures de coûts, rationaliser les opérations et permettre une gestion plus automatisée et basée sur les données. Un principe clé souligné par chaque entreprise de biofabrication interrogée par le CTIC pour cette recherche était l'importance de tenir l'humain informé, en adoptant des systèmes numériques enrichis de la responsabilité humaine.

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 et des fournisseurs, l'amélioration de la qualité des produits, le soutien à une culture de l'innovation, ainsi que la gestion de la concurrence mondiale et le développement de nouvelles possibilités sur le marché (figure 9).

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



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

Applications technologiques en pratique

Dans les entreprises canadiennes de biofabrication et de fabrication biomédicale, une large gamme d'outils numériques, d'automatisation, de robotique, d'IA/AA, d'analyse de mégadonnées et de conception numérique sont déployés de manière à se compléter les uns les autres tout en contribuant à augmenter l'échelle, à améliorer la qualité, à rationaliser les flux de travail et à rendre la production plus prévisible.

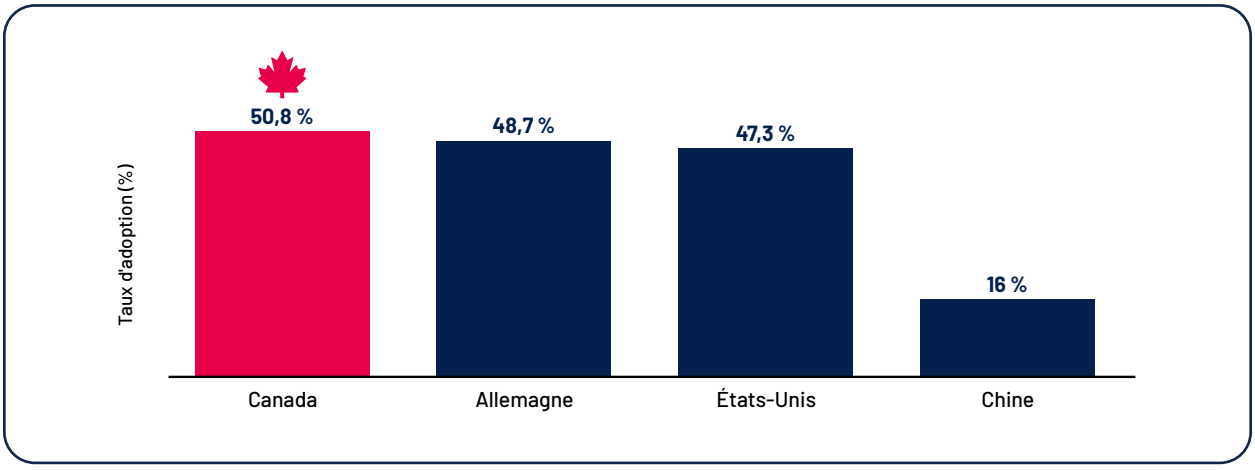
Bien qu'elles évoluent dans différents segments de l'écosystème de biofabrication, aucune des entreprises que nous avons interrogées ne menait d'opérations de fabrication « dans le noir »; elles adoptaient plutôt une stratégie délibérée et progressive qui équilibre innovation et risque, respect des réglementations et maintien et amélioration de la sécurité des patients. Le rythme d'adoption des technologies numériques par les entreprises de biofabrication dépend toujours de l'échelle de l'entreprise, de l'accès au capital et des exigences réglementaires.

Plusieurs fabricants canadiens de produits biologiques avec lesquels le CTIC a échangé dans le cadre de ce rapport de feuille de route adoptent des processus numériques et automatisés de façon pratique et progressive. Ils témoignent d'une évolution numérique par étapes, passant d'opérations manuelles en salle blanche à une fabrication automatisée en système fermé, à des procédés de bioproduction appuyés par la robotique et à une optimisation fondée sur l'IA.

Une organisation de développement et de fabrication sous contrat (CDMO) avec laquelle le CTIC a échangé dans le cadre de cette feuille de route a adopté un modèle de production automatisé qui intègre des bras robotisés pour effectuer des tâches liées au traitement des cellules et au contrôle de la qualité. Cette approche permet une exploitation 24 heures sur 24, une plus grande précision et un débit plus élevé que les flux de travail reposant uniquement sur l'intervention humaine. Pour cette entreprise CDMO, la robotique occupe une place centrale dans sa vision, les robots de laboratoire prenant en charge les étapes répétitives et de haute précision nécessaires à la production de thérapies cellulaires propres à chaque patient.

Actuellement, dans les locaux de production, l'entreprise utilise une structure principale numérique comprenant Snowflake pour l'extraction des données, un système SAP pour le suivi de la chaîne d'approvisionnement, et le système LIMS pour la gestion des informations de laboratoire ainsi que des carnets électroniques de laboratoire pour connecter les systèmes de bout en bout. De plus, l'entreprise utilise des outils d'IA pour créer des boucles de rétroaction examinant « l'utilisation de l'équipement afin de vérifier si la planification des plages horaires est exécutée aussi efficacement que possible » et pour détecter si une machine « commence à sortir de son calibrage avant qu'elle le fasse et avant d'être dans une situation de déviation ».

Figure 10. Adoption de l'informatique en nuage dans le secteur manufacturier, Canada et économies de pays semblables (2022-2023)



Sources des données : Statistique Canada, 2024; Info Institute, 2023; National Center for Science and Engineering Statistics, 2022; McKinsey & Company, 2022[6].

6 Statistique Canada (gouvernement du Canada), « Technologies de l'information et des communications utilisées, par industrie et taille d'entreprise », tableau : 22-10-0117-01, septembre 2024, https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=2210011701 https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=2210011701&request_locale=fr; Info Institute, « Cloud computing in use at 46.5% of Companies in Germany », 12 juillet 2023, https://www.ifo.de/en/facts/2023-07-12/cloud-computing-use-companies-germany; Timothy R. Wojan, « Digitalization, Cloud Computing, and Innovation in U.S. Businesses », National Center for Science and Engineering Statistics, document de travail NCSES 22-213, 2022, https://ncses.nsf.gov/pubs/ncses22213, tableau 1; Kai Shen et al., « Cloud in China: The outlook for 2025 », McKinsey & Company, 8 juillet 2022, https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/cloud-in-china-the-outlook-for-2025.

Les fabricants canadiens ont largement adopté des infrastructures numériques basées sur le nuage telles que le système ERP pour servir de plateforme de transformation numérique. L'informatique en nuage permet aux fabricants d'exécuter des logiciels, de stocker des fichiers et de traiter de grands volumes de données sans serveurs internes. L'informatique en nuage offre un stockage et une puissance de calcul évolutifs, prenant tout en charge, des plateformes d'analyse de mégadonnées à la traçabilité des produits. En effet, les fabricants canadiens se comparent favorablement à ceux d'économies comparables comme l'Allemagne et les États-Unis en matière de taux d'adoption de l'informatique en nuage, comme l'illustre la figure 10.

Dans un autre exemple, une entreprise d'ARNm personnalisé considère l'IA comme un moyen de réduire la lourde et répétitive paperasse nécessaire à la production de vaccins individualisés. Selon cette entreprise, chaque dossier de patient utilise des documents modèles très similaires avec un contenu personnalisé, ce qui signifie que « remplir ces dossiers ne devrait pas demander trop d'effort puisque cela est très répétitif ». Toutefois, lorsque cette tâche doit être accomplie, « on ne veut jamais qu'elle le soit de manière entièrement numérisée » et on veut que des humains continuent à « lire et approuver ces dossiers » et qu'ils restent responsables de cette tâche. C'est un domaine qui illustre de façon évidente comment l'IA peut préétablir des documents réglementaires et cliniques afin d'accélérer l'efficacité de la production.

Une autre entreprise interrogée pour cette feuille de route rapporte qu'elle utilise l'IA pour rendre son processus de bioimpression plus rapide, moins coûteux et plus prévisible. Leur équipe a construit un modèle d'apprentissage automatique pour prédire le comportement d'une nouvelle bioencre en fonction de ses propriétés mécaniques et biologiques initiales, ce qui leur permet de tester l'imprimabilité avant d'engager des matériaux coûteux et rares dans la réalisation d'expériences complètes. Comme l'explique le fondateur de l'entreprise, le système peut même « prédire comment des encres inconnues se comporteraient » en utilisant des données provenant de matériaux totalement différents, ce qui transforme un processus autrefois lent d'essais et erreurs en un flux de travail ciblé et économique. Le modèle d'IA agit comme un jumeau numérique de l'encre biologique réelle.

De même, une entreprise qui développe et fabrique des vaccins et des traitements personnalisés contre le cancer compare les possibilités de l'automatisation à l'extension naturelle de son procédé de production hautement modulaire. Elle explique que chaque procédé de fabrication ne diffère que par « ce qu'il y a sur le modèle » et que « tout ce qui est en aval peut être facilement automatisé », ce qui lui permet de faire le mélange, la purification et la finition des intrants de matériaux avec un minimum d'intervention humaine. Ce changement lui permettrait « d'automatiser complètement les procédés de purification séquentiels », ce qui réduirait la charge de travail manuel et augmenterait l'uniformité entre les lots spécifiques aux patients.

En regardant vers l'avenir, l'entreprise souligne que l'automatisation sera indispensable à l'expansion des vaccins personnalisés, et elle explique qu'il « ne faudrait pas avoir une liste d'attente de 5 000 personnes alors qu'on peut n'en produire que deux par mois. » Bien que l'entreprise n'ait pas encore mis en œuvre ces systèmes, elle considère que l'automatisation, et à terme, davantage de flux de travail documentaires pilotés par l'IA, sont essentiels pour rendre les thérapies individualisées à ARNm efficaces, opportunes et largement accessibles.

Malgré l'ampleur de l'innovation, les entreprises ont constamment insisté sur le fait que l'adoption numérique doit rester étroitement alignée sur des exigences réglementaires rigoureuses, en particulier celles régissant la chaîne de possession et d'identité en vigueur, la protection de la vie privée des patients, les voies logistiques complexes et les normes en matière d'essai sur les rejets.

Comprendre le RCI et mesurer les résultats de la transformation numérique

Tous les fabricants interrogés pour cette feuille de route ont indiqué que pour mesurer l'impact de la transformation numérique, ils doivent comprendre les avantages liés à l'amélioration de la production et à la réduction des coûts, tout en soulignant les défis liés à la fabrication utilisant des matières biologiques comme intrants. La mesure du RCI inclut la réduction des risques, la stabilité des processus et l'amélioration de la qualité de la documentation, ainsi que des rendements financiers mesurables, qui apparaissent souvent au fil du temps à mesure que la production d'échelle s'installe.

Comme l'a indiqué une entreprise de bioproduction, les premiers résultats ne sont pas liés à l'atteinte d'une automatisation à grande échelle, mais plutôt à des gains progressifs qui réduisent les risques d'échec et améliorent la constance de la production. Pour cette entreprise, le principal gain initial réside dans une meilleure visibilité des processus de production. À l'heure actuelle, les dossiers de lot manuscrits rendent difficile le suivi des tendances. Comme le souligne un membre de la direction de l'entreprise, « il est très difficile, dans le système actuel, de comparer les tendances d'un lot à l'autre ». Les nouveaux outils de données de l'entreprise permettent de repérer les problèmes plus tôt, par exemple lorsqu'un équipement commence à se dérégler, ce qui contribue directement à améliorer la disponibilité opérationnelle et les résultats pour les patients.

Une entreprise de bioproduction souligne que, bien que les systèmes numériques puissent améliorer l'efficacité, le retour sur investissement demeure lent et dépend de l'ampleur de la demande pour ses produits. Comme l'a expliqué un dirigeant d'entreprise, « lorsqu'on commence à faire des progrès vers l'IA, ont ne voit pas immédiatement le rendement du capital investi. On verra une amélioration de 10 % à 20 %, mais on sait que ces améliorations nécessitent un investissement de 10 millions de dollars ». Ce dirigeant explique aussi que « l'échelle n'est tout simplement pas encore tout à fait à la hauteur. Mais, quand on arrive à la phase 3 et que la demande monte à mille doses par an, soudainement cela devient une évidence ». Cette analyse illustre la façon dont l'atteinte du rendement du capital investi grâce à l'adoption des technologies numériques dans la biofabrication dépend fortement de l'atteinte à la fois de la maturité clinique et de l'échelle de production. Pour une industrie caractérisée par de petites et moyennes entreprises de biofabrication produisant de petits lots de produits très spécifiques et coûteux, la réalisation d'économies d'échelle justifiant des investissements dans l'adoption de la technologie numérique demeure un défi pour un grand nombre d'entre elles au Canada.

Un autre exemple soutient également qu'en biofabrication, le RCI n'est pas un incitatif précoce, mais plutôt un incitatif qui n'apparaît qu'après l'approbation réglementaire, des volumes de lots plus élevés et des processus de production matures qui rendent possible l'optimisation et la réduction des coûts. En effet, la société CGT a indiqué que « lorsqu'on fait de la production à l'échelle commerciale, on se concentre sur le rendement du capital investi. On se concentre sur le prix le plus élevé qui peut être facturé, sur le prix le plus bas qui peut être facturé ou sur la possibilité de produire un lot à un coût donné afin d'obtenir le meilleur résultat possible. Ce sont sur ces points qu'on commence à se concentrer. »

Pour un autre fabricant de thérapies cellulaires, les résultats se mesurent par la réduction des erreurs et une manipulation plus uniforme des cellules sensibles. Cette entreprise a souligné que l'automatisation est encore nouvelle, en expliquant que « c'est une plutôt une nouveauté au niveau mondial qui n'a pas encore été éprouvée » et soulignant que même de petites réductions de variabilité sont des indicateurs précoces importants du succès.

Une entreprise canadienne de bioimpression interrogée pour cette feuille de route mesure les résultats grâce à des économies de temps et de coûts en recherche et développement. Leur système d'apprentissage automatique prédit avec précision le comportement des nouvelles bioencres, même en utilisant des matériaux totalement nouveaux. Comme l'a partagé le fondateur de l'entreprise, « quand ça commence à économiser beaucoup d'argent, on se dit, d'accord ». Cela illustre que dans ce segment de la fabrication de pointe, le rendement du capital investi se manifeste non pas par des améliorations massives de la production, mais par des économies supplémentaires, mais tangibles, qui peuvent s'accumuler au cours du développement du produit et des phases ultérieures de la production.

Les résultats mesurables peuvent également être directement liés à la qualité, à la sécurité et à la responsabilité réglementaire, plutôt qu'à la vitesse ou au débit. Les outils numériques sont précieux lorsqu'ils peuvent aider à renforcer les processus de traçabilité et à réduire les erreurs dans le cadre de procédés complexes en plusieurs étapes. Comme l'a expliqué un fabricant d'ARNm, même avec la numérisation croissante, « quelqu'un doit lire les documents, les signer et en être responsable ». Dans cet environnement, le succès se mesure par une documentation plus propre et plus fiable, par moins d'incohérences dans les dossiers de lots et par une supervision renforcée de chaque point de décision de la production.

Plutôt que de remplacer le jugement humain et la responsabilité humaine, les systèmes numériques améliorent la précision et la solidité du travail, en garantissant que chaque étape reste vérifiable et conforme. Dans l'ensemble, les entreprises évaluent la transformation numérique par l'amélioration de l'uniformité, la réduction des erreurs, l'amélioration de la visibilité et une prise de décision plus fluide, qui sont tous des résultats supplémentaires qui posent les bases d'impacts plus importants à mesure que la production s'étend.

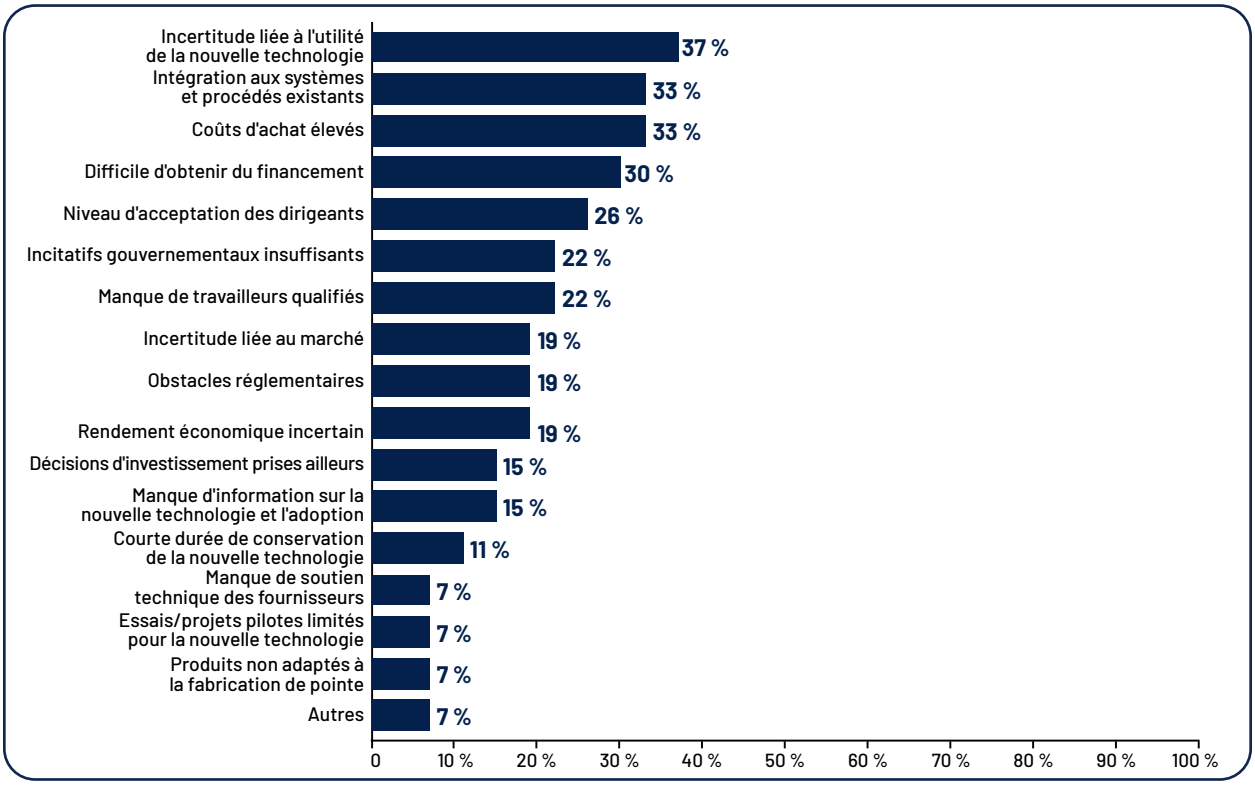
Obstacles à l'adoption

Malgré l'intérêt évident et les bénéfices démontrés en ce qui concerne les technologies numériques de pointe, les entretiens de recherche auprès des entreprises canadiennes de biofabrication révèlent une série d'obstacles persistants qui ralentissent ou compliquent leur adoption dans le secteur.

Les coûts d'achat élevés des technologies numériques constituaient un obstacle universel pour toutes les entreprises interrogées dans le cadre de cette feuille de route. Les questions réglementaires et de conformité sont également apparues comme un obstacle majeur parmi les entreprises interrogées. Naturellement, la biofabrication exige une documentation rigoureuse de la chaîne d'identité, de la chaîne de possession, des dossiers de lots, des tests de sécurité et des critères de rejets. La confidentialité des données et la cybersécurité ajoutent une couche supplémentaire de réglementation et de complexité, notamment pour les vaccins personnalisés et les systèmes de prise de décision assistés par l'IA. Les personnes interrogées pour cette feuille de route ont également déclaré que l'incertitude autour des réglementations existantes, des exigences émergentes en matière de sécurité et de gouvernance de l'IA, ainsi que les risques de validation des modèles, sont des obstacles importants à l'adoption.

Les entreprises canadiennes de biofabrication ont signalé qu'elles ne comprennent pas clairement comment les nouvelles technologies numériques peuvent s'intégrer aux opérations de biofabrication existantes, comment les technologies peuvent être intégrées aux systèmes et processus existants et comment les obstacles financiers tels que les coûts d'achat élevés des nouvelles technologies et la difficulté à obtenir du financement peuvent être surmontés avant qu'elles investissent dans l'adoption de technologies numériques. Les incitatifs gouvernementaux insuffisants, l'alignement sur la stratégie de la direction et le manque de travailleurs qualifiés pour mettre en œuvre de nouvelles technologies étaient également des considérations importantes (figure 11). Lors des tables rondes avec l'industrie, les obstacles réglementaires ont également été mis en lumière comme un obstacle majeur à l'adoption des technologies numériques dans les opérations de biofabrication.

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



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

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

La préparation de la main-d'œuvre et la culture organisationnelle sont apparues comme des contraintes majeures pour toutes les entreprises de fabrication biomédicale interrogées pour cette feuille de route. Bien que toutes les entreprises ayant participé à cette étude de cas œuvrent dans des environnements scientifiques hautement techniques, les entreprises en général ont indiqué que leurs employés, bien qu'étant des experts techniquement spécialisés dans leur domaine, ne sont pas formés à l'automatisation, à la robotique, à l'apprentissage automatique ou aux systèmes de qualité numérique.

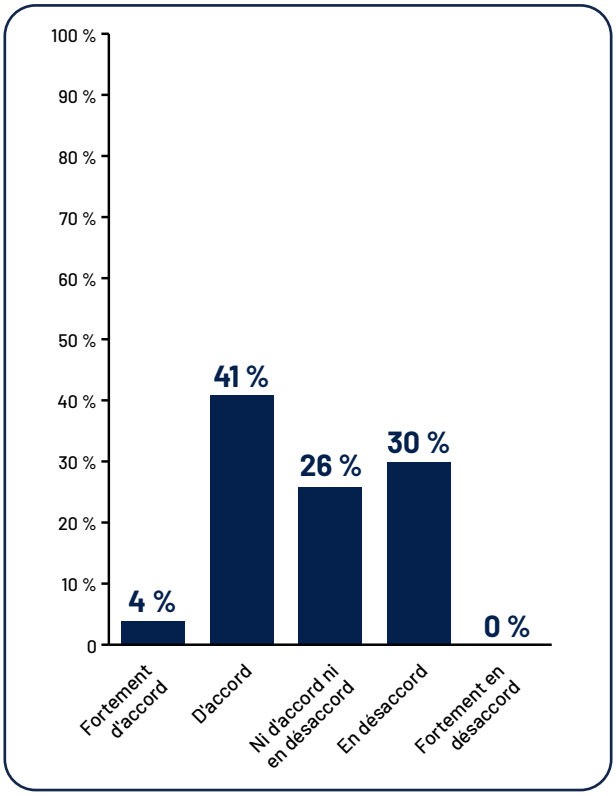
Comme l'a déclaré un répondant, « ce sont tous des scientifiques, mais ils n'ont pas de formation en IA ». Cela a créé des lacunes persistantes en matière de capacités qui peuvent ralentir l'adoption du numérique et nécessiter une mise à niveau interne significative. Par exemple, chez un fabricant de thérapies cellulaires et géniques, le passage à l'IA et à l'automatisation a mis en lumière un profond déficit interne de compétences, comme l'a observé l'un des représentants de l'entreprise en expliquant que personne n'est spécialisé en IA et qu'ils construisent vraiment une équipe à l'interne.

Les gestionnaires ont souligné que le principal obstacle n'était pas une résistance pure et simple, mais plutôt l'incertitude et le manque de confiance à l'égard d'outils inconnus. Comme l'a dit une entreprise, le personnel « n'y est pas opposé, mais cela ne signifie pas qu'ils vont simplement l'utiliser correctement », et elle a ajouté que les entreprises de biofabrication en transformation numérique doivent associer les nouvelles technologies numériques à un plan de formation du personnel. « Les employés n'ont aucune idée de ce qu'ils font, donc ils ont besoin d'aide. Il faut que cela soit bien mis en œuvre. » De même, la société de bioimpression a décrit comment elle a dû cultiver une expertise interne en apprentissage automatique, s'appuyant sur des cours universitaires et des études dirigées pour développer ses capacités, car « il y a tellement de choses dans le domaine de la bioimpression qui n'ont pas encore été explorées ».

En ce qui concerne la formation du personnel et le développement de la main-d'œuvre pour favoriser la transformation numérique en biofabrication, l'industrie canadienne de la biofabrication déclare disposer du personnel nécessaire pour mettre en œuvre de nouvelles technologies numériques, mais moins de la moitié des entreprises de biofabrication ont officialisé des plans de formation pour adopter et mettre en œuvre de nouvelles technologies numériques.

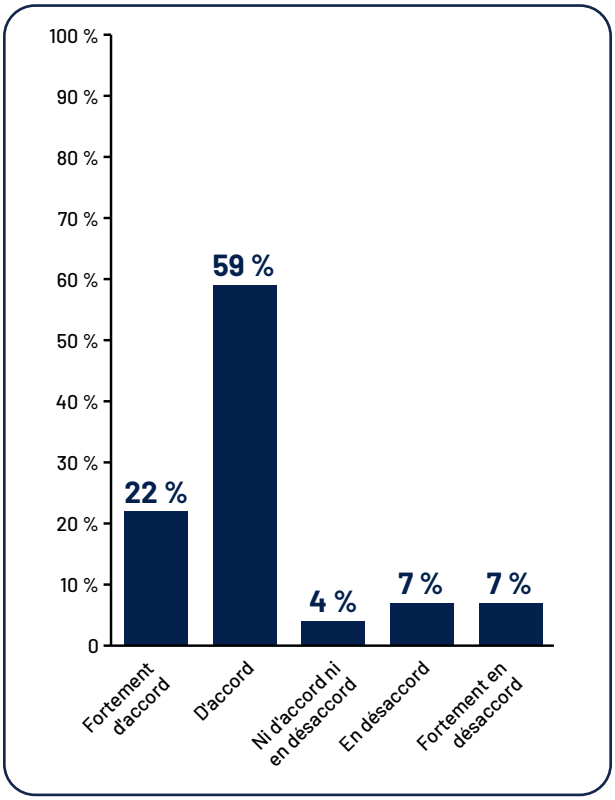
Alors que 81 % des entreprises de biofabrication répondant à l'enquête sur la transformation numérique du CTIC auprès des fabricants canadiens ont déclaré disposer de personnel possédant les compétences technologiques nécessaires pour s'adapter aux technologies, 45 % des entreprises de biofabrication ont déclaré disposer d'un plan de formation pour soutenir l'adoption des technologies numériques (figures 12 et 13).

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 – Biofabrication (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 – Biofabrication (2025)



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

Gestion des risques

Selon les entreprises ayant participé à cette étude de cas, la transformation numérique en biofabrication de pointe est indissociable d'une gestion rigoureuse des risques, laquelle gestion doit couvrir la sécurité des produits, la cybersécurité, la conformité et la sensibilité fondamentale des matériaux vivants. Les responsables interrogés dans le secteur de la biofabrication pour cette feuille de route ont souligné que l'automatisation doit augmenter, et non diluer, la sécurité des laboratoires et des produits. De même, les entreprises de biofabrication interrogées pour cette feuille de route ont souligné l'importance de créer des limites de gouvernance quant à l'utilisation de l'IA, afin de se prémunir contre une autonomie dangereuse à mesure que l'IA est adoptée plus largement.

Les répondants ont également indiqué que les produits biologiques sous-tendent une incertitude biologique unique que l'automatisation seule ne peut éliminer. Comme les cellules ne se comportent pas comme des produits chimiques, un dirigeant du secteur de la bioproduction souligne qu'« on ne sait jamais comment la biologie va réagir » et que, par conséquent, « il y aura toujours une intervention humaine dans le processus ». Cette supervision humaine requise influence de manière significative la répartition des risques et l'ampleur que peut prendre l'automatisation dans le secteur de la biofabrication. Comparativement à d'autres industries manufacturières de pointe qui travaillent avec des matériaux moins complexes, l'adoption globale de l'IA sera probablement plus lente dans le secteur de la biofabrication.

Les risques de cybersécurité et de sécurité de la recherche ont également été mentionnés, en particulier pour les entreprises traitant des données de patients ou des propriétés intellectuelles sensibles. Une entreprise a souligné que tous les systèmes numériques doivent respecter des protocoles stricts de données de santé en ajoutant que « tous leurs systèmes doivent être conformes à la HIPAA » et en soulignant que cela crée des

« défis uniques » en biofabrication par rapport à d'autres industries manufacturières de pointe.

Une autre entreprise de biofabrication ayant des liens étroits avec l'écosystème canadien de la recherche postsecondaire a décrit comment les règlements fédéraux des trois organismes concernant la sécurité de la recherche exigent un renforcement des protocoles de sécurité de l'information, y compris le dépistage des collaborateurs potentiels, ainsi que d'autres mesures de protection contre le vol de PI et le détournement de recherches sensibles[7]. Pour les entreprises de biofabrication qui travaillent en étroite collaboration avec les laboratoires universitaires canadiens dont le financement provient des trois organismes, un élément critique de tout programme de sécurité de l'information/cybersécurité constitue le respect de la diligence raisonnable requise et des protocoles de sécurité de la recherche.

Considérations liées à la gestion du changement organisationnel

Les quatre entreprises ont toutes décrit d'importants défis liés aux talents pour que l'automatisation, l'IA et les outils numériques occupent une grande place dans leurs opérations. Comme il est indiqué ci-dessus, un des principaux facteurs est que la main-d'œuvre canadienne en biosciences est hautement qualifiée, mais pas nécessairement formée aux compétences numériques requises par les nouveaux systèmes. Cela signifie que les entreprises recrutent de nouveaux spécialistes en technologie numérique tout en perfectionnant le personnel existant, ce qui crée une main-d'œuvre mixte capable de gérer à la fois le travail traditionnel en laboratoire humide et les outils numériques émergents.

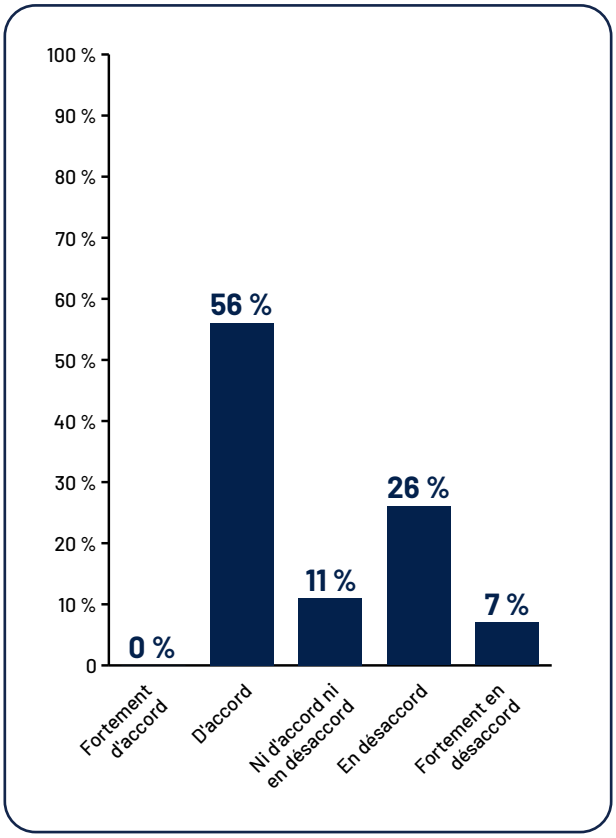
Une entreprise de bioproduction, qui possède déjà des capacités avancées en matière de fabrication numérique, souligne qu'à mesure que ses activités prennent de l'ampleur, « les rôles auxquels on s'attend lorsqu'on entend parler d'IA et de robotique sont tous en expansion ». Cette évolution l'amène à développer ses équipes d'ingénierie, de TI et de développement en IA, en parallèle de son personnel scientifique et de production de base. Cette entreprise souligne que les travailleurs qui possèdent même une expérience numérique limitée, par exemple dans l'utilisation de systèmes d'exécution de la fabrication, sont désormais des membres clés de l'équipe et « se démarquent du lot », car ces compétences sont soudainement devenues essentielles.

Une entreprise est même allée jusqu'à engager un responsable de l'IA dédié à l'interne pour faire progresser cette transition. Comme l'a expliqué leur chef de projet, ils ont pu recruter un véritable chef de file de l'industrie de l'IA pour la fabrication cellulaire, ce qui, selon lui, les a aidés à attirer et à développer leur propre équipe. Faire appel à ce type de spécialiste est perçu comme un élément catalyseur, car cela contribue à définir une stratégie claire en IA, fait ressortir l'engagement de la direction dans ce domaine et facilite le développement de la capacité à l'interne en matière d'automatisation et de fabrication basée sur les données.

Les entreprises de biofabrication interrogées dans le cadre de l'enquête du CTIC sur la transformation numérique auprès des fabricants canadiens étaient tournées vers l'avenir en ce qui concerne le développement de stratégies globales d'adoption des technologies numériques et appuyaient une forte culture du changement à l'appui de la transformation numérique. Cinquante-six pour cent des fabricants ont déclaré avoir une stratégie d'adoption globale des technologies numériques et 52 % ont bénéficié d'une culture du changement alignée sur la transformation numérique (figures 14 et 15).

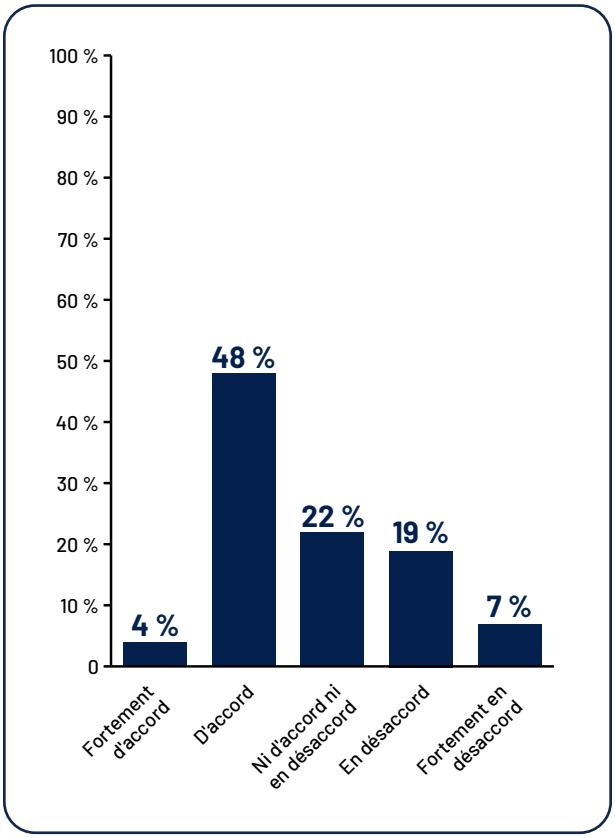
7 Voir : Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (gouvernement du Canada), « Orientations des trois organismes concernant la sécurité de la recherche », dernière mise à jour le 22 mai 2025 https://nserc-crsng.canada.ca/en/funding/research-partnerships-and-collaborations/inter-agency/tri-agency-guidance-research-security https://nserc-crsng.canada.ca/fr/financement/partenariats-et-collaborations-de-recherche/collaboration-interorganismes/orientations.

Figure 14. D'accord/en désaccord - Mon organisation a une stratégie globale pour l'adoption des technologies numériques – Biofabrication (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 du changement sur laquelle sont alignées la stratégie, les actions et la structure numériques dans l'ensemble de l'organisation – Biofabrication (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 entreprises de biofabrication devraient planifier l’adoption des technologies numériques sur un horizon de cinq ans. La figure 16 présente les horizons temporels d’adoption des technologies numériques pour la biofabrication.

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 biofabrication

Les cas d'utilisation précisent la façon dont différentes technologies numériques peuvent être adoptées dans une opération de biofabrication. 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 biofabrication, les cas présentés sont destinés à être illustratifs, plutôt qu'exhaustifs.

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

Technologie	Exemple de cas d'utilisation	Bénéfice(s)
IA/AA	Maintenance prédictive	Réduire le risque de pannes non planifiées, diminuer les incidents de défaillances catastrophiques des équipements.
	Surveillance environnementale en salle blanche et détection d'anomalies	Automatiser la surveillance du réseau de capteurs (température, humidité, particules d'air) pour détecter les variations.
	Formulation de produits et produits thérapeutiques soutenus par l'IA	Cycles R&D accélérés, itérations de produits plus rapides, optimisation des formulations.
	Tableau de bord de production en usine activé par l'IA	Ajouter des capacités prédictives au tableau de bord de données, automatiser la prise de décision de routine.
	Contrôle adaptatif de processus activé par l'IA	Améliorer la qualité, augmenter le débit, réduire les temps d'arrêt, accroître l'efficacité énergétique, renforcer la flexibilité de la production.

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.
	Surveillance et analyse de la consommation d'énergie et d'eau	Réduire la consommation/coûts d'énergie et d'eau, aider à atteindre les objectifs de rendement ESG.
Informatique en nuage	Sécurité des produits thérapeutiques et traçabilité des produits	Tenir des dossiers numériques sur la traçabilité des produits thérapeutiques et autres produits.
	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.
	Plateformes LMIS basées sur le nuage	Empreinte des TI réduite, mise à l'échelle rapide, gestion centralisée et sécurisée des données, visibilité en matière de conformité réglementaire, collaboration renforcée.
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., ISO 27001)	Renforcer la gouvernance et la conformité en cybersécurité, réduire les risques cybernétiques, respecter les exigences d'assurance.
	Investigation numérique	Collecter les données des réseaux TO/TI pour une investigation après un incident et aider les forces de l'ordre.
	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 pour les procédés et la qualité	Relier les paramètres des processus de production, intrants de matières et conditions environnementales aux résultats de qualité et de sécurité.
	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.
	Optimisation de la bioencre	Améliorer la reproductibilité de l'impression, réduire le gaspillage de matières premières, accélérer la R&D.
	Jumelage numérique des cellules universelles	Contribuer à la production de thérapies cellulaires allogéniques universelles.
Robotique et automatisation industrielle	Postes de travail de laboratoire automatisés	Réduire la variabilité des expériences, automatiser la conformité et les journaux d'audit.
	Assainissement et automatisation de l'hygiène	Moins grande exposition des opérateurs aux produits chimiques de nettoyage, réduction de l'utilisation des agents nettoyants et de l'eau.
	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.
	Livraison automatisée par drone juste-à-temps	Optimisation des stocks, livraison plus rapide des points de production/logistiques aux points de service, meilleure réactivité.
Capteurs et IdO	Capteurs IdO pour la surveillance de la chaîne froide	Réduire le risque de détérioration en permettant la surveillance de la température et de l'humidité pendant le transport.
	Surveillance en temps réel des bioprocédés	Réduire les variations, enregistrer automatiquement les paramètres de production, permettre le contrôle prédictif et la reproductibilité des lots.
	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.
	Intégration des capteurs ERP/LMIS	Soutenir les tableaux de bord en temps réel, la consignation des données de conformité, la saisie de données complexes sur les procédés et la production pour la construction de modèles de jumeaux numériques et d'IA/AA.
	Capteurs IdO et appareils connectés pour les travailleurs pour la surveillance et la détection en temps réel des dangers	Améliorer la sécurité des travailleurs, réduire les incidents de sécurité et réduire 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, humanoïdes/mobiles)	ABB IRB 360 « FlexPicker », Stäubli Sterimove
	IdO/capteurs	Capteurs, contrôleurs, étiquettes RFID, caméras à vision artificielle
Infrastructure numérique	Réseau et connectivité	Ethernet industriel, 4G/5G, spectre LNCL d'ISDE[8]
	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/IIdO	Siemens MindSphere, Tulip, Cumulocity
	Plateformes d'IA/mégadonnées	Snowflake, IBM watsonx, Anthropic Claude
	Plateformes ERP en nuage/hybrides	SAP ERP, GoldFinch ERP, Cegeka Pharma & Life Sciences
	Plateformes LIMS	Veeva LIMS, Uncountable, LabWare
	Plateformes MES/EBR (compatibles à GxP)	Suite PAS-X MES, Suite Pharma FactoryTalk
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 de biofabrication. 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.

8 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 de production	% de réduction du temps de réaménagement de la ligne	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 BAIIDA 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 les recettes	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 recettes	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 Partners[9]. De même, l'engagement précoce dans la gestion du changement peut augmenter le RCI du projet de 40 à 60 %[10].

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 par rapport aux mesures de réussite établies et le 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.

9 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/.

10 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 manufacturier souhaite installer des capteurs IdO sur une cellule individuelle de production de produits thérapeutiques, le point de contrôle 1 peut vérifier si l'équipement est compatible avec les nouveaux capteurs et si les locaux de la salle blanche de la cellule de production disposent de la connectivité nécessaire pour que les capteurs envoient les données vers une base de données en nuage. Entre les points de contrôle 1 et 2, un examen de la conformité devrait être exécuté.

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 biofabricants 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 de tous les scientifiques œuvrant à la recherche et technologues de production, tandis que le point de contrôle 4 inclurait l'expansion de l'initiative d'adoption technologique et l'ajout de capteurs IdO à toutes les opérations de production de produits thérapeutiques. 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

Technologies numériques	Point de contrôle 1 - Contrôle de la préparation technique	Examen de la conformité	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).	Examen de la conformité réglementaire	Projet pilote de modèle d'IA sur une seule chaîne de production	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Former les technologues de production à interpréter les extrants.	Déploiement dans les installations
Analyse de mégadonnées	Veiller à mettre en place une infrastructure de saisie de données.	Examen de la conformité réglementaire	Projets pilotes de tableaux de bord pour l'analyse des causes profondes	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Former les analystes de données, les scientifiques et le personnel de laboratoire.	Évoluer vers la prise de décision au niveau de l'entreprise.
Informatique en nuage	Évaluer les solutions/ options en nuage des fournisseurs.	Examen de la conformité réglementaire	Projet pilote de MES/ERP en nuage en version d'essai	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Donner de la formation aux responsables des TI et de laboratoire 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	Examen de la conformité réglementaire	Projet pilote de système de détection d'intrusion	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Donner de la formation au personnel de production sur les protocoles cybernétiques.	Certifier la conformité à l'échelle de l'entreprise.
Jumeaux numériques	Développer un jumeau numérique pour une pièce d'équipement de laboratoire.	Examen de la conformité réglementaire	Valider le jumeau par rapport au rendement réel.	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Donner de la formation aux opérateurs à l'aide de simulations.	Passer aux jumeaux numériques de lignes ou d'installations.
Capteurs / IdO	Installer des capteurs sur une cellule de production.	Examen de la conformité réglementaire	Valider l'amélioration des extrants / des économies de temps d'arrêt.	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Donner de la formation aux technologues de laboratoire sur l'utilisation d'une nouvelle technologie.	Expansion sur la ligne de production
Robotique	Évaluer la préparation des cobots et robots pour une tâche de laboratoire.	Examen de la conformité réglementaire	Projet pilote de cobot de pipetage ou de tâche de manipulation de liquides	Mesures prédéfinies du RCI liées aux objectifs stratégiques	Donner de la formation aux technologues de laboratoire sur la sécurité et le travail en collaboration.	Intégrer la robotique à plusieurs laboratoires.

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 biofabrication

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
	Vol de propriété intellectuelle/cyberattaque/violation de données	Majeur	Moyenne	Cybersécurité, protection de la PI, essais d'intrusion

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 il explique aux entreprises de biofabrication comment déterminer si un risque augmente et comment prendre des mesures rapides pour atténuer ce risque.

Figure 24. Exemples de scénarios déclencheurs dans la biofabrication

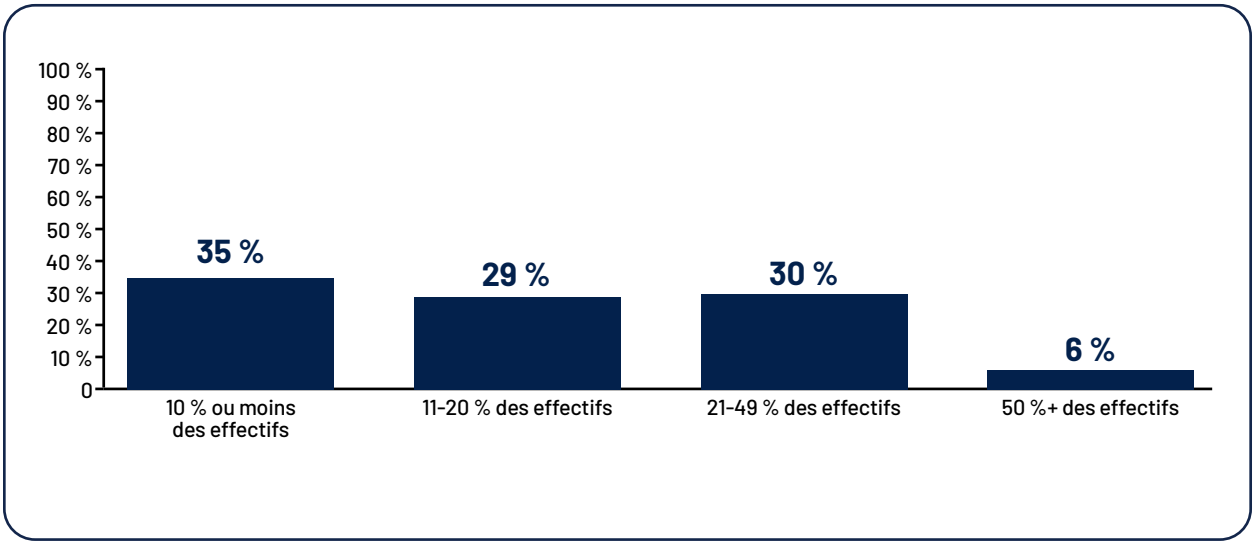
Scénario déclencheur	Indicateur d'alerte précoce	Actions potentielles
I. Santé Canada introduit une nouvelle exigence de conformité sur la traçabilité numérique.	Clauses de traçabilité mises à jour dans les DDQ ou les contrats avec les fournisseurs.	Examiner les politiques de traçabilité des produits et la préparation numérique; engager un fournisseur de services pour évaluer les lacunes.
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.	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.
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; effectuer 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 biofabrication. Il existe un besoin urgent d'accroître la proportion de la main-d'œuvre qui sert de moteur à la transformation numérique dans la biofabrication pour soutenir une croissance continue. En effet, dans le secteur de la biofabrication, il est crucial de promouvoir des niveaux avancés de littératie numérique et de réflexion sur la transformation numérique dans des domaines fonctionnels aussi variés que la production, l'assurance qualité, la conformité réglementaire, ainsi que les ventes et le développement commercial.

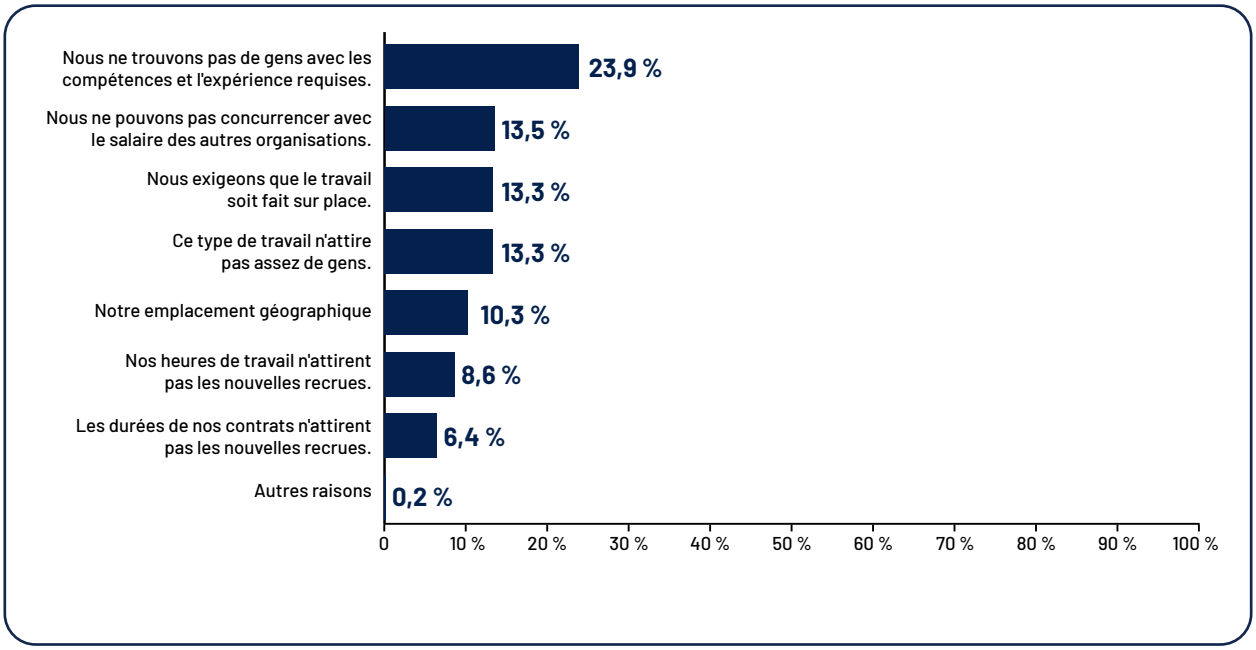
L'enquête du CTIC de 2025 sur l'adoption des technologies numériques dans le secteur canadien de la fabrication a révélé que 35 % des entreprises de biofabrication consacraient moins de 10 % de leurs effectifs aux efforts de transformation numérique (figure 25).

Figure 25. Main-d'œuvre dédiée à la transformation numérique dans les entreprises canadiennes de biofabrication (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)[11].

11 Maryna Ivus, Todd Legere, Christopher Lindstrom, Sheldon Lopez et Faun Rice, « Pouls 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/pouls-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 les laboratoires et les environnements de biofabrication, 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 biofabrication 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 laboratoires et les environnements de biofabrication.
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.

En plus de recruter et de retenir des talents numériques qualifiés pour stimuler l'adoption numérique dans le secteur canadien de la biofabrication, 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.

Surtout, les entreprises de biofabrication engagées dans la transformation numérique doivent instaurer une culture d'apprentissage continu au sein de leurs effectifs grâce à des stratégies organisationnelles réfléchies et à l'adoption de modèles de formation innovants pour favoriser les talents numériques[12].

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 biofabrication.

12 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	Créer des équipes d'employés multifonctionnelles 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 techniciens et scientifiques 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 entreprises canadiennes de biofabrication n'ont pas à entreprendre seules leur parcours de transformation numérique. En effet, il existe de nombreuses organisations extérieures dans l'industrie manufacturière et le secteur public avec lesquelles les entreprises de biofabrication 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 coopératifs, le recrutement sur les campus, ainsi que la recherche conjointe. En effet, de nombreuses entreprises de biofabrication peuvent retracer leurs origines directement à la recherche initiale réalisée dans des laboratoires de recherche universitaires.

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	› 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) › Recrutement sur les campus (p. ex., salons de l'emploi, soirées professionnelles) › Recherche conjointe industrielle-universitaire › Conseils consultatifs sur les programmes d'études industrielles › Coopération/ protection en ce qui concerne la sécurité de la recherche

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

En plus des principaux secteurs de partenariat mentionnés ci-dessus, les entreprises de biofabrication doivent être prêtes 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.

De même, les relations avec les parties prenantes telles que les clients, les fournisseurs et les fournisseurs de technologies doivent être prises en compte lors de la transformation numérique. Les entreprises de biofabrication doivent également comprendre les types de données potentiellement sensibles et non personnelles, comme les données sur la production et les procédés, les données financières et les données de la chaîne d'approvisionnement qu'elles 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, données sur la qualité, les finances, la sécurité et les incidents, la chaîne d'approvisionnement)
- Normes d'interopérabilité et formats de données
- Normes de cybersécurité/protection des données, conformité de la recherche en matière de sécurité des trois organismes

Exigences de sécurité, de réglementation et de conformité

- Normes de qualité
- Normes de santé et sécurité
- Réglementation sur la sécurité et la traçabilité des produits thérapeutiques
- Normes environnementales/ESG
- Accords de propriété intellectuelle et de confidentialité

Adoption des technologies numériques : un appel à l'action

Le secteur canadien de la biofabrication bénéficiera grandement de l'adoption croissante des technologies numériques dans les laboratoires et dans l'ensemble de l'industrie manufacturière. Le secteur canadien de la biofabrication joue un rôle important dans l'économie canadienne, en tant que foyer majeur de l'innovation et producteur de produits médicaux et thérapeutiques qui sauvent des vies. Il est un employeur majeur de personnel hautement qualifié, dont des scientifiques, des ingénieurs et des technologues de laboratoire.

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 en biofabrication doit être continuellement formée et perfectionnée pour que l'on puisse tirer le meilleur parti des technologies numériques innovantes dans les laboratoires.

De même, pour tirer le meilleur parti de la transformation numérique, les entreprises de biofabrication 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. Toutes ces activités de transformation numérique doivent être menées de manière à protéger la PI sensible et les données des patients, à respecter les exigences réglementaires, à prendre en compte la gouvernance et la sécurité de l'IA, et à être menées de manière qui est, avant tout, centrée sur l'humain.

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'un laboratoire, la maintenance prédictive ou un outil de planification de production basé sur l'IA).
Formation	Encourager la contribution du personnel dès le départ, former des champions du changement numérique dans le laboratoire, 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 d'autres lignes, laboratoires ou familles de produits.
Intégration	Déployer les initiatives d'adoption technologique mises à l'échelle en une pile technologique cohérente pour stimuler la rentabilité, l'économie 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 biofabrication 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 27 entreprises du secteur canadien de la biofabrication. Compte tenu de la grande diversité des types d'entreprises actives dans la biofabrication 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 biofabrication. Le CTIC a également mené six entretiens semi-structurés avec des répondants clés, comprenant des cadres supérieurs, des dirigeants techniques et d'autres experts du secteur canadien de la biofabrication. Le CTIC a également organisé une table ronde sectorielle sur la biofabrication 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.