

Sous la direction scientifique de  
**Nathalie de Marcellis-Warin – Benoit Dostie**  
Sous la coordination de  
**Genevieve Dufour**

# Le Québec **9** économique

**Perspectives et défis  
de la transformation  
numérique**

## Introduction

**NATHALIE DE MARCELLIS-WARIN  
BENOIT DOSTIE  
GENEVIEVE DUFOUR**



## Introduction

# CHANGER, TRANSFORMER, INNOVER

### **Nathalie de Marcellis-Warin**

Professeure titulaire à Polytechnique  
Montréal et présidente-directrice  
générale du CIRANO

### **Genevieve Dufour**

Directrice des grands projets  
de collaboration au CIRANO  
et coordonnatrice du livre  
*Le Québec économique 9*

### **Benoit Dostie**

Professeur titulaire à HEC Montréal,  
chercheur et fellow au CIRANO, et  
directeur académique au Centre  
interuniversitaire québécois de  
statistiques sociales (CIQSS)

**D**e la numérisation de données à leur valorisation, la transformation numérique a évolué ces dernières années, nécessitant des besoins croissants en technologies, en capacité de stockage et en puissance de calcul. Mais cette transformation doit s'accompagner à la fois d'un changement dans les opérations et d'un changement de culture pour s'assurer d'arriver à une création de valeur.

Cette nouvelle édition du *Québec économique* porte sur la transformation numérique, ses perspectives et ses défis, et inclut des illustrations concrètes dans de multiples secteurs de l'économie québécoise. L'analyse de l'impact des changements technologiques s'inscrit dans la planification stratégique du CIRANO avec les changements démographiques et les changements climatiques.

*Le Québec économique 9* entre lui-même dans l'âge numérique en étant désormais, dès sa parution, disponible en ligne gratuitement. Nous souhaitons augmenter la visibilité et l'accessibilité à ce collectif de textes de vulgarisation économique qui présente les résultats de recherches récentes.

L'expression « transformation numérique » doit être ici comprise dans son sens le plus large. Les technologies considérées dans cet ouvrage sont multiples. Pour n'en nommer que quelques-unes, les auteurs parlent des nouvelles technologies dans le domaine de l'information et de la communication, de la robotisation, des nanotechnologies et des techniques liées à l'intelligence artificielle derrière de nombreux processus qui sous-tendent l'utilisation de ces nouvelles technologies.

Il est important de noter que plusieurs thèmes reviennent dans la plupart des chapitres :

- 1 - Le potentiel intrinsèque de développement de nouveaux outils est encore important ;
- 2 - Le déploiement des outils existants a aussi un grand potentiel ;
- 3 - Les effets que l'on mesure déjà iront en s'accéléralant dans les prochaines années.

De plus, cet ouvrage montre qu'il n'est pas suffisant de changer ou de transformer l'économie, il est primordial de saisir les occasions de revoir nos façons de faire et nos processus afin d'innover dans un souci d'améliorer notre niveau de vie, notamment en faisant la promotion d'une économie plus verte.

Pour ces raisons, bien que nous utilisions le terme d'usage commun *transformation numérique* dans le titre du livre, notre perspective en est une d'innovation numérique qui représente mieux, selon nous, une volonté d'amélioration continue, plutôt que la simple transformation numérique, et ce, dans une optique de changement vers le mieux ou de transformation positive. Innover, c'est faire la recherche constante d'améliorations, par contraste avec l'invention, qui vise (seulement!) à créer du nouveau (Wikipédia).

Les lecteurs trouveront dans cet ouvrage plusieurs exemples inspirants, qui vont au-delà du statut de mot à la mode souvent accolé au mot *innovation*. Les auteurs y présentent les façons dont les changements technologiques peuvent être utilisés pour une meilleure transformation, ou une meilleure innovation, ainsi que certains obstacles ou défis à relever pour favoriser la transformation numérique et en tirer les bénéfices.

## Partie 1

### Le Québec en perspective

Comme dans les éditions précédentes, la première partie du livre porte sur la conjoncture économique et sur la synthèse du congrès annuel de l'Association des économistes québécois.

- **Pierre Cléroux**, vice-président à la recherche et économiste en chef de la Banque de développement du Canada, présente une analyse de la performance économique récente du Québec et décrit comment l'économie a été affectée par la pandémie. Il note que malgré ce choc, on peut déjà déceler des indicateurs d'une reprise, et conclut, exemples à l'appui, qu'une relance réussie devra nécessairement s'appuyer sur les technologies numériques.
- Le congrès de l'Association des économistes québécois qui s'est tenu à Québec en mai 2019 avait pour thème « Démographie, immigration et marché du travail au Québec. Menaces ou opportunités ? ». Le compte rendu de **Jean-Claude Cloutier** fait ressortir une réponse claire à la question posée : (1) même si elle pose certains défis d'intégration, l'immigration représente certainement une opportunité, et (2) le vieillissement de la population au Québec pose problème, mais le congrès a certainement permis d'explicitier quelques pistes de solutions pour en mitiger les impacts négatifs.

## Partie 2

# Transformation numérique et politiques publiques innovantes

### *Section 1 : La transformation numérique*

Les chapitres présentés dans cette section montrent comment l'innovation numérique pourrait grandement aider à la prise de décisions dans un contexte de politiques publiques. Les nouvelles technologies permettent, potentiellement, à ces dernières d'être à la fois mieux ciblées et plus efficaces, mais cette section illustre aussi que le défi se trouve dans l'implantation des innovations.

- Le chapitre écrit par [Ben Hadj](#) pour le ministère de l'Économie et de l'Innovation montre comment les politiques innovantes afin de soutenir le développement d'une industrie bâtie autour des technologies liées à l'intelligence artificielle (IA). On y constate cependant qu'il reste beaucoup de travail à faire pour que l'économie québécoise puisse tirer tous les avantages des techniques développées autour de cette industrie, notamment en matière d'adoption des technologies par les entreprises.
- L'équipe composée de [Catherine Beaudry](#), [Georges Hage](#), [Giulia Piantoni](#) et [Laurence Solar-Pelletier](#) discute de la stratégie gouvernementale fédérale en matière de création de supergrappes, en particulier celle des chaînes d'approvisionnement axées sur l'intelligence artificielle, Scale AI. Elle examine les défis liés à la commercialisation des technologies de l'IA et le rôle facilitant que joue Scale AI. Les défis posés par la transformation numérique nécessiteront une collaboration intersectorielle et interdisciplinaire plus large de la part des entreprises qui souhaitent bénéficier de tels changements.
- [Simon Bourdeau](#), [Pierre Hadaya](#) et [Philippe Marchildon](#) explicitent en détail les conditions gagnantes pour que les investissements en technologies de l'information (TI) puissent rapporter les bénéfices escomptés. Ils établissent 10 enjeux à considérer et un triumvirat de bonnes pratiques à mettre en œuvre qui assurent que ces bénéfices se matérialisent.

- Laurence Solar-Pelletier, Catherine Beaudry et Majlinda Zhegu montrent comment la transformation numérique vient faciliter la collaboration et font état de son importance accrue comme source d'innovation et d'innovation ouverte. Elles donnent, pour ce faire, de nombreux exemples liés à l'infonuagique, à l'IA, à l'Internet des objets et aux chaînes de blocs.

## *Section 2 : Le marché du travail et la formation face à la transformation numérique*

La deuxième section se penche sur les impacts de la transformation numérique sur le marché du travail et sur les compétences requises par les travailleurs pour bien réussir dans ce marché transformé.

- Luc Vinet, directeur du Centre de recherches mathématiques (CRM) de l'Université de Montréal, donne son point de vue sur l'importance de la maîtrise des compétences de base en mathématiques. Il en ressort que la numératie est un élément important pour le développement concurrentiel du Québec, sur le plan tant individuel que sociétal.
- Benoit Dostie et Genevieve Dufour, quant à eux, partent du constat que, puisque la majorité de l'apprentissage se fait après la scolarisation formelle, l'adaptation à un marché du travail subissant l'impact de la transformation numérique doit obligatoirement passer par la formation en emploi. Ils notent que la technologie influence les modes de livraison de la formation et qu'elle influe sur la résilience des travailleurs face aux changements technologiques.
- Évidemment, au-delà des anecdotes, les perturbations engendrées par les changements technologiques sont déjà bien observables à grande échelle sur le marché du travail dans plusieurs pays, par le phénomène de polarisation des salaires, où les salaires des hauts et faibles salariés augmentent plus rapidement que ceux de la classe moyenne. Benoit Dostie montre que ce phénomène est aussi observable au Québec. Il note au passage que la classe moyenne, qui ressort relativement perdante de ce phénomène, englobe maintenant des travailleurs qui étaient auparavant perçus comme ayant des salaires élevés.

### Section 3 : Données et transformation numérique

La section 3 traite de la matière première sur laquelle s'appuie l'innovation numérique, soit les données. Nous sommes dans l'ère des données massives (on pourrait dire de plus en plus massives) depuis plusieurs années déjà. Dans un contexte d'innovation numérique, les nouvelles technologies permettent de mieux trouver et d'exploiter davantage l'information contenue dans ces données. Cette information est évidemment cruciale pour l'élaboration de politiques publiques basées sur des données probantes.

- Catherine Haeck et Marie Connolly donnent leur point de vue sur l'utilité des données massives qui est bien moindre si des mécanismes ne sont pas mis en place pour en faciliter l'accès aux chercheurs pour les exploiter dans le respect de la confidentialité des répondants. Elles décrivent explicitement plusieurs modèles dont pourrait s'inspirer le Québec pour simplifier l'utilisation de données massives dans le domaine de la recherche.
- L'équipe composée de Benoit Aubert, Nathalie de Marcellis-Warin et Thierry Warin montre comment les nouvelles techniques de science des données se rapportant, entre autres, à l'apprentissage machine et à une puissance de calcul accrue permettent d'analyser des données non structurées et de l'information sous forme de texte. Les auteurs illustrent, à l'aide de nombreux exemples, les retombées de ces analyses en matière de compréhension des mécanismes derrière la prise de décision et les possibilités d'amélioration des politiques publiques.
- Finalement, Dalibor Stevanovic présente différentes méthodes statistiques liées à l'apprentissage automatique, indiquant comment elles peuvent améliorer la prévision économique. Dans ce chapitre, il applique ces techniques à la prévision de la croissance économique au Québec.

### Section 4 : L'État et la transformation numérique

L'État est trop souvent écarté des analyses économiques des impacts de la transformation numérique. Pourtant, ce secteur représente une part importante de l'économie. Les deux chapitres de cette section examinent l'influence de la transformation sur les dépenses et les revenus de l'État, ainsi que son efficacité.

- **Luc Godbout et Michaël Robert-Angers** considèrent l'autre facette, les revenus de l'État. Ils montrent qu'une délocalisation des dépenses des consommateurs peut avoir un impact négatif, notamment en raison d'une baisse de la perception des taxes sur les achats dans les commerces en ligne dont le siège social est à l'étranger. Plusieurs pistes prometteuses sont explorées dans ce chapitre pour limiter les répercussions négatives que peut avoir ce type de commerce sur les finances publiques du Québec.
- **Daniel J. Caron** explique tout d'abord comment les investissements en TI peuvent aider l'État à améliorer son efficacité. L'auteur traite des défis et des facteurs de succès des investissements étatiques en TI, en mettant l'accent sur les enjeux de gouvernance et en étudiant les processus, incluant les méthodes de travail.

## *Section 5 : La transformation numérique à l'œuvre dans plusieurs secteurs*

La dernière section du livre examine l'impact de la transformation numérique dans cinq secteurs (finance, agriculture, construction, aérospatiale et transport) en tenant compte des caractéristiques spécifiques de chacun d'entre eux.

- Tout d'abord, l'équipe composée de **Michel Magnan, Robert Normand et Bryan Campbell** aborde les enjeux de la transformation numérique dans le secteur financier. Il ressort de ce chapitre que ce secteur est à l'avant-garde de la transformation numérique. Les autres secteurs auraient donc avantage à scruter ce qui s'y passe en ce qui a trait à l'emploi, à la rétention de la main-d'œuvre et aux points de services, par exemple, pour prévoir ce que la transformation numérique apporte dans leur propre industrie.
- **Annie Royer, Nathalie de Marcellis-Warin, Ingrid Peignier et Thierry Warin** examinent ensuite les enjeux du système agroalimentaire face à la révolution numérique. Ils repèrent plusieurs technologies encore sous-exploitées qui permettraient à la fois d'augmenter la productivité du secteur et de solutionner les enjeux de pénurie de main-d'œuvre propres au secteur.



- Le problème de faible croissance de la productivité est aussi bien présent dans le secteur de la construction. Le collectif de chercheurs formé de Mario Bourgault, Christophe Danjou, Robert Pellerin, Nathalie Perrier, Conrad Boton, Daniel Forgues, Ivanka Jordanova, Érik Poirier, Louis Rivest et Laurent Joblot montre que cet enjeu est aussi lié à des problèmes d'innovation. Les auteurs déterminent plusieurs technologies qui pourraient aider le secteur de la construction en bâtissant sur la pierre angulaire que représente le *Building Information Modelling* (BIM).
- L'équipe composée de Fabiano Armellini, Catherine Beaudry, Mario Bourgault, Patrick Cohendet, Laurent Simon, Laurence Solar-Pelletier, Nasrin Sultana et Ekaterina Turkina se penche sur la transformation numérique pour le secteur de l'aérospatiale, où celle-ci pourrait être utile pour relever d'autres défis de nature environnementale et énergétique.
- En terminant, Carolyn J. Hatch, Patrick Cohendet et Laurent Simon décrivent le concept de mobilité intégrée rendue possible par les nouvelles technologies. Ils expliquent comment ce concept pourrait transformer profondément la circulation des biens et des personnes et exposent les défis d'implémentation de ce concept dans les villes québécoises et canadiennes.

## Transformation numérique en temps de pandémie

Il est finalement difficile de passer sous silence le contexte pandémique dans lequel s'est déroulée la préparation de la neuvième édition du *Québec économique*. Plusieurs auteurs ont terminé la rédaction de leur chapitre en plein confinement, et la production d'autres chapitres a dû être annulée : c'est le cas par exemple du Baromètre CIRANO, qui, normalement, a lieu chaque année et dont les résultats sont présentés dans la partie *Le Québec en perspective*.

Certains auteurs ont noté au passage les conséquences de la pandémie de COVID-19 sur l'innovation numérique, sans se prononcer nécessairement sur ses impacts à court et à long terme (cela représenterait une étude en soi). Par exemple, dans son point de vue, Luc Vinet souligne l'importance de connaître les mathématiques (par exemple le concept de croissance exponentielle) pour comprendre l'évolution des taux d'infection, et ainsi les modélisations de la direction que prendra la pandémie. Dans

son chapitre, Pierre Cléroux illustre l'impact de la pandémie sur l'économie et montre qu'on peut déjà déceler un rebond dans l'activité économique au moyen des données officielles publiées. Dans le chapitre écrit par Aubert, De Marcellis-Warin et Warin, plusieurs exemples sont liés à la COVID-19, que ce soit pour l'analyse des données de recherche sur Internet ou des données issues des conversations sur les réseaux sociaux. À la lecture des différents chapitres, il sera intéressant de noter les forces qui pourraient être des accélérateurs de la transformation numérique dans un contexte de pandémie.

En résumé, des chercheurs et des experts reconnus ont participé à la rédaction de cette neuvième édition du *Québec économique*. Une partie des textes présentés provient de résultats de recherches effectuées au CIRANO au cours des derniers mois. Ces résultats ont été vulgarisés afin d'être présentés dans cet ouvrage. Bien que chacun des textes ait été commenté par un comité de lecture ainsi que par la direction scientifique de l'ouvrage, aucun choix n'a été imposé aux auteurs et les textes n'ont pas été harmonisés. Ainsi, les auteurs demeurent entièrement responsables de leurs textes. Les opinions présentées dans cet ouvrage ne représentent pas celles du CIRANO et ne l'engagent en rien.

## Remerciements

La réalisation d'un livre tel *Le Québec économique* demande la collaboration de nombreux acteurs. Nous tenons à remercier chaleureusement tous les collaborateurs qui ont su garder le cap malgré les circonstances particulières dans lesquelles cet ouvrage a été préparé en raison de la pandémie de COVID-19.

Nous souhaitons, tout d'abord, remercier les 45 auteurs ayant participé à cet ouvrage. Il s'agit d'un nombre record d'auteurs, ce qui démontre l'intérêt des chercheurs pour le thème de cette édition. Nous tenons à mentionner l'aspect collaboratif de plusieurs textes.

Nous remercions également le comité de lecture pour son soutien au comité de direction scientifique de l'ouvrage. Sous la direction de Patrick Richard (Université de Sherbrooke), le comité de lecture était composé d'Étienne Farvaque (Université de Lille), de Martino Pelli (Université de Sherbrooke) et de Jimmy Royer (Groupe d'analyse). De plus, nous tenons à souligner l'apport important du ministère des Finances du Québec et du

ministère de l'Économie et de l'Innovation, qui ont mis à notre disposition l'expertise de leurs équipes de professionnels pour la relecture des textes, et nous remercions particulièrement Anny Gagnon. Cependant, le contenu de cet ouvrage n'engage en rien les ministères québécois des Finances ainsi que de l'Économie et de l'Innovation.

Nous tenons à souligner le travail minutieux effectué par Louis Desjardins et toute l'équipe de Mardigrafe pour la révision linguistique des textes, la conception graphique de l'ouvrage et son impression, ainsi que la contribution de Molivann Panot (CIRANO) et de Marius Vigne (CIRANO).



## Références

Armellini, F., Beaudry, C., Bourgault, M., Cohendet, P., Simon, L., Solar-Pelletier, L., Sultana, N. et Turkina, E. (2020). L'aérospatiale numérique au Québec : un écosystème innovant au cœur des enjeux de la société. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspective et défis de la transformation numérique* (18, p. 457-470). CIRANO.

Aubert, B., De Marcellis-Warin, N. et Warin, T. (2020). Science des données, réseaux sociaux et politiques publiques. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (11, p. 285-314). CIRANO.

Beaudry, C., Hage, G., Piantoni, G. et Solar-Pelletier, L. (2020). Les technologies et les politiques publiques en appui à l'essor de l'intelligence artificielle. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (4, p. 113-147). CIRANO.

Bourdeau, S., Hadaya, P. et Marchildon, P. (2020). Projets de transformation numérique : bénéfiques, enjeux et quelques bonnes pratiques. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (5, p. 149-169). CIRANO.

Bourgault, M., Danjou, C., Pellerin, R., Perrier, N., Boton, C., Forgues, D., Iordanova, I., Poirier, É., Rivest, L. et Joblot, L. (2020). Transformer le secteur de la construction par le numérique : un chantier ambitieux et nécessaire. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (17, p. 433-456). CIRANO.

Caron, D. J. (2020). Technologies numériques et efficacité organisationnelle : repenser l'organisation publique selon ses flux informationnels. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (14, p. 373-396). CIRANO.

Cléroux, P. (2020). La pandémie freine une économie en pleine croissance. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (1, p. 25-48). CIRANO.

Cloutier, J.-C. (2020). L'immigration comme solution aux effets du ralentissement démographique au Québec : enjeux et pistes de solution découlant du congrès 2019 de l'Association des économistes québécois. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (2, p. 49-72). CIRANO.

Dostie, B. (2020). Changements technologiques et polarisation des salaires au Québec. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation* (9, p. 247-266). CIRANO.

Dostie, B. et Dufour, G. (2020). Transformation numérique et formation continue. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (8, p. 221-246). CIRANO.

Godbout, L. et Robert-Angers, M. (2020). Point de vue sur les défis fiscaux associés au commerce électronique. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (13, p. 355-372). CIRANO.

Hadj, B. (2020). L'intelligence artificielle : un puissant levier de développement économique pour le Québec. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (3, p. 77-112). CIRANO.

Haeck, C. et Connolly, M. (2020). Point de vue sur l'accessibilité aux données des administrations. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (10, p. 269-284). CIRANO.

Hatch, C. J., Cohendet, P. et Simon, L. (2020). La mobilité intégrée : une perspective d'écosystème d'innovation. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation* (19, p. 471-484). CIRANO.

Innovation. (2020, 13 octobre). Dans *Wikipédia*. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Innovation>

Magnan, M., Normand, R. et Campbell, B. (2020). Les enjeux de la transformation numérique pour le secteur financier. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (15, p. 399-415). CIRANO.

Royer, A., De Marcellis-Warin, N., Peignier, I., et Warin, T. (2020). La révolution numérique appliquée à l'agriculture au Québec. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (16, p. 417-432). CIRANO.

Solar-Pelletier, L., Beaudry, C. et Zhegu, M. (2020). Collaboration et innovation : comment la transformation numérique change la donne. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (6, p. 171-202). CIRANO.

Stevanovic, D. (2020). Préviation macroéconomique dans l'ère des données massives et de l'apprentissage automatique. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (12, p. 315-352). CIRANO.

Vinet, L. (2020). Point de vue sur l'importance des mathématiques et de la numératie pour le Québec. Dans N. de Marcellis-Warin et B. Dostie (dir.), *Le Québec économique 9. Perspectives et défis de la transformation numérique* (7, p. 205-220). CIRANO.