Les technologies dans le monde agricole

État des lieux et freins à l'adoption

TED ROGERS SCHOOL OF MANAGEMENT | DIVERSITY INSTITUTE

Future Skills Centre | Centre des Compétences futures

Partenaires

TED ROGERS SCHOOL OF MANAGEMENT | DIVERSITY INSTITUTE

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

Future Skills Centre | Centre des Compétences futures

Le Centre des Compétences futures (FSC-CCF) est un centre de recherche et de collaboration d'avant-garde qui se consacre à l'innovation dans le domaine du développement des compétences afin que toutes les personnes au Canada soient prêtes pour l'avenir du travail. Nous travaillons en partenariat avec des responsables de l'élaboration des politiques, des membres de la communauté scientifique, des spécialistes, des employeurs et des travailleuses et travailleurs, ainsi qu'avec des établissements d'enseignement postsecondaire, afin de résoudre les problèmes urgents du marché du travail et de veiller à ce que tout le monde puisse bénéficier de possibilités d'apprentissage pertinentes tout au long de la vie. Le CCF a été créé par un consortium dont les membres sont l'Université métropolitaine de Toronto, Blueprint et le Conference Board du Canada, et il est financé par le Programme « Compétences futures » du gouvernement du Canada.

Auteurs

Wendy Cukier, PhD

Fondatrice et directrice des études
Diversity Institute

Directrice de recherche universitaire
Centre des compétences futures

Bryant Serre

Associé de recherche
Diversity Institute

Contributeurs

Benymen Israilov

Assistant de recherche
Diversity Institute

Kevin Wu

Assistant de recherche
Diversity Institute

Bailleur de fonds

Le Centre des Compétences futures — Future Skills Centre est financé par le Programme Compétences futures du gouvernement du Canada.

Les opinions et interprétations contenues dans cette publication sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles du gouvernement du Canada.

Financée par le programme du Centre des Compétences futures du gouvernement du Canada

Canada

Date de publication : Août 2025

Table des matières

Résumé ii

Contexte 1

Innovation et invention en agriculture 4

Déterminants de l'adoption des technologies 14

Conclusion et recommandations 22

Références 26

Résumé

Contexte

L'agriculture est un des piliers de l'économie du Canada et continuera de jouer un rôle important dans les années à venir. En 2023, le secteur agricole canadien employait 2,3 millions de personnes, soit un emploi sur neuf, et sa contribution au produit intérieur brut (PIB) s'élevait à 143,8 milliards de dollars. Le secteur couvre un large éventail d'activités, la production agricole primaire se situant au premier rang des contributions en PIB par habitant et les services d'alimentation, à l'autre extrémité. La technologie étant vouée à transformer les pratiques agricoles, il sera indispensable de faire l'inventaire des besoins techniques et d'analyser leurs variations selon les catégories d'entreprises et de main-d'œuvre pour maintenir la bonne marche du secteur à long terme.

Innovations et inventions dans le monde agricole

Bien que le Canada soit un chef de file mondial en matière d'agriculture de pointe, fort d'une valorisation de 954 millions de dollars en 2021 sur ce marché, l'adoption des technologies dans le pays s'avère contrastée selon la taille des entreprises et le profil des propriétaires. En outre, les politiques dans le domaine, au lieu de stimuler l'innovation de manière proactive, interviennent souvent en riposte aux aléas météorologiques et aux pressions des marchés. Plusieurs grandes innovations dans le domaine agricole sont à relever :

- **Agriculture en environnement contrôlé (AEC) :** les serres, les fermes verticales et les autres systèmes de production en milieu confiné ont connu une forte expansion, portés par des solutions technologiques (comme les systèmes d'irrigation intelligents). Selon les prévisions, les outils numériques du marché devraient permettre de dégager des recettes supplémentaires de l'ordre de 750 millions à 1,5 milliard de dollars par an.
- **Plateformes d'agrégation des données :** tirant parti de l'intelligence artificielle (IA) et de l'Internet des objets, ces systèmes agrègent des données issues de plusieurs sources (dispositifs de surveillance des cultures, de fertirrigation et d'irrigation) pour réguler les conditions ambiantes de manière automatique, utiliser l'énergie de manière plus efficiente et augmenter les rendements culturaux.
- **Technologie des capteurs :** les capteurs de données sur le milieu environnant permettent de suivre l'évolution de l'état du sol, de l'air et des cultures; les données ainsi recueillies sont utilisées pour gérer l'irrigation, les conditions ambiantes et la récolte automatisée. La baisse du coût de ces dispositifs a permis d'en généraliser l'usage dans les exploitations.

- **Systèmes de distribution des éléments nutritifs et de l'eau :** les dispositifs de précision pour l'irrigation et l'apport de nutriments, notamment en AEC, permettent une utilisation plus efficiente des ressources. Les systèmes de gestion intelligents permettent de réduire la consommation d'eau jusqu'à 90 p. 100 dans les serres, et jusqu'à 98 p. 100 dans les fermes verticales.
- **Sol et milieu de croissance :** ces systèmes sont propres à stimuler la croissance des plantes et à réduire la dépendance au foncier, et offrent ainsi des solutions plus souples aux communautés rurales et autochtones.
- **Systèmes de production d'énergie renouvelable :** les énergies solaire, géothermique, éolienne et la bioénergie permettent de développer la production dans les zones peu desservies par les réseaux de distribution. La production d'électricité à partir de sources renouvelables sur les exploitations a presque doublé depuis 2015.

- **Robotisation et systèmes agricoles autonomes :** en AEC, les robots permettent d'améliorer les rendements tout en réduisant les besoins en main-d'œuvre, un poste qui représente 31 p. 100 des coûts de production en serre.
- **Modification du germoplasme :** les innovations appliquées au germoplasme renforcent la résistance des cultures face aux aléas météorologiques, et permettent de surmonter les contraintes liées aux variations saisonnières.
- **Biostimulants :** les biostimulants contribuent à la santé des cultures et permettent de lutter contre les organismes nuisibles.

Facteurs déterminants de l'adoption des technologies

L'adoption des technologies dans l'agriculture est déterminée par un ensemble de facteurs. Si les innovations transforment les modes de production, les petites entreprises agricoles et celles détenues par des personnes issues de groupes méritant l'équité se heurtent souvent à des obstacles qui les empêchent de tirer pleinement parti des nouvelles technologies. Les principaux facteurs qui influent sur l'adoption des technologies sont les suivants :

- **Ressources financières :** les coûts élevés liés à l'acquisition des technologies et à la formation s'avèrent un frein majeur à l'adoption, en particulier pour les petites entreprises et celles appartenant à des personnes issues de groupes méritant l'équité. La hausse du coût des intrants, aggravée par les tensions géopolitiques et l'imposition de nouveaux droits de douane, est venue accentuer les pressions déjà existantes. En outre, les innovations technologiques sont souvent conçues pour les exploitations qui

disposent de ressources plus importantes et des moyens nécessaires pour les mettre en application. En conséquence, s'ils permettent bel et bien aux grandes entreprises d'accroître leur efficience et d'évoluer à plus grande échelle, ces outils demeurent néanmoins hors de portée des plus petites entreprises.

> **Formation :** dans le secteur agricole, la transmission des savoirs s'effectue traditionnellement d'une génération à l'autre, une situation qui risque d'accentuer les écarts de compétences entre les professionnels au fur et à mesure que les progrès technologiques verront le jour. Faute de formation et de comprendre clairement les avantages économiques, les agripreneuses et agripreneurs (entrepreneuses et entrepreneurs agricoles) peuvent faire preuve de réticence face à l'innovation. Les outils technologiques qui s'intègrent aisément aux pratiques déjà en place suscitent une plus forte adhésion. Si des initiatives de formation axées sur les compétences existent, peu d'entre elles ciblent expressément les petites agroentreprises et les entrepreneuses et entrepreneurs issus de groupes méritant l'équité; il convient donc d'y associer des programmes plus souples, tels que les microcertifications, les certificats professionnels et l'apprentissage intégré au travail.

> **Possibilités d'exploitation de la technologie :** l'innovation agricole étant le résultat de programmes intensifs de recherche et de développement, les technologies mises au point sont souvent destinées aux grandes entreprises qui disposent des capacités requises pour les acquérir et les exploiter. Les petites et moyennes entreprises (PME) étant rarement la cible prioritaire des inventions, ces dernières suscitent un intérêt moindre de leur part, et les possibilités qui s'offrent à elles de contribuer

Bien que le secteur agricole canadien compte à son actif de nombreuses ***innovations technologiques*** *qui permettent de gagner en efficacité et en évolutivité, l'analyse montre que les entreprises ne se trouvent pas sur un* ***pied d'égalité*** *lorsqu'il s'agit d'en* ***tirer les bénéfices****.*

au processus d'innovation sont limitées. En conséquence, bon nombre des technologies nouvelles ne donnent pas matière à être exploitées dans le cadre de leurs activités.

> **Infrastructures :** l'adoption de systèmes fondés sur les données suppose de disposer d'une connexion Internet rapide et fiable. Or, seulement 59,5 p. 100 des ménages ruraux et 42,9 p. 100 des ménages des Premières Nations qui vivent dans les réserves disposent d'un accès à l'Internet à haut débit. En raison de cette fracture, bon nombre d'entreprises agricoles rurales, d'exploitations établies de longue date et d'entreprises dirigées par des Autochtones peinent à s'investir pleinement dans la transition numérique du secteur agricole.

> **Politiques :** pour aider les petites agroentreprises et celles dirigées par des personnes issues de groupes méritant l'équité à adopter les nouvelles technologies, une actualisation des politiques s'impose, notamment pour lever les entraves au commerce interprovincial qui restreignent l'accès aux marchés et pour adapter les régimes fiscaux de manière à favoriser le développement d'activités à valeur ajoutée.

Conclusion et recommandations

Bien que le secteur agricole canadien compte à son actif de nombreuses innovations technologiques qui permettent de gagner en efficacité et en évolutivité, l'analyse montre que les entreprises ne se trouvent pas sur un pied d'égalité lorsqu'il s'agit d'en tirer les bénéfices. Les principaux facteurs qui entrent en jeu dans l'adoption de ces innovations favorisent généralement les grandes entreprises, ce qui risque de creuser davantage les écarts plutôt que de les réduire. À cet égard, les recommandations suivantes sont proposées :

> Les initiatives de financement devraient cibler prioritairement les PME et les entreprises appartenant à des groupes méritant l'équité, et viser à couvrir les dépenses d'investissement et à faciliter l'accès aux formations axées sur les compétences techniques.

> Le secteur agricole doit être présenté comme un domaine offrant un large éventail de débouchés professionnels. Il convient notamment d'agir sur les stéréotypes culturels, sectoriels et sexistes, de promouvoir les métiers techniques et les fonctions de direction, mais aussi de souligner et de valoriser l'impulsion donnée par les femmes et les groupes méritant l'équité dans les domaines de l'innovation, de la durabilité et dans les nouveaux domaines tels que l'agriculture verticale et l'agrotourisme.

> L'offre de formation et de perfectionnement des compétences doit être élargie afin qu'un plus large public puisse y accéder, notamment par le développement de microcertifications, de certifications professionnelles et d'expériences d'apprentissage intégrées au travail qui soient au diapason des besoins du secteur.

> La mise en place de soutiens complets est indispensable pour que les entrepreneuses et les entrepreneurs issus de groupes méritant l'équité puissent accéder aux formations et aux services d'enseignement. Ces soutiens concernent notamment l'accès à Internet, dont l'absence demeure un frein majeur pour les peuples autochtones. D'autres dispositifs ont fait leurs preuves, comme l'exonération de certains frais, et la mise à disposition de services de santé mentale, de garde d'enfants et d'aide aux familles.

Contexte

L'agriculture est un pilier de l'économie canadienne, et l'innovation dans ce secteur est essentielle pour continuer à développer les débouchés commerciaux, assurer l'autosuffisance des communautés et renforcer la durabilité. En 2023, le secteur agricole canadien employait 2,3 millions de personnes (soit un emploi sur neuf à l'échelle nationale) et contribuait à hauteur d'environ 143,8 milliards de dollars au produit intérieur brut (PIB) du Canada[1].

Les entreprises agricoles canadiennes mènent des activités primaires variées et de nombreuses activités d'appui connexes, comme les services d'alimentation (environ 20,5 p. 100 du PIB du secteur agricole) et la vente au détail et en gros de denrées alimentaires (environ 25,1 p. 100). À ces activités s'ajoutent la production agricole primaire (environ 21,3 p. 100 du PIB du secteur agricole), la transformation des denrées alimentaires et des boissons (environ 24,0 p. 100), ainsi que la fourniture d'intrants et de services (agronomes, fournisseurs de nutriments et de dispositifs de fertirrigation, distributeurs de technologies, etc.), qui représentent environ 8,9 p. 100 du PIB agricole[2]. Le long de la chaîne logistique de la production agricole, les plus fortes contributions en PIB par habitant proviennent de l'agriculture primaire (environ 142 000 dollars), des entreprises de transformation de denrées alimentaires et de boissons (environ 112 000 dollars) et des fournisseurs d'intrants et de services (174 000 dollars). À l'autre extrémité se trouvent les détaillants et les grossistes alimentaires (environ 58 000 dollars) ainsi que les prestataires de services d'alimentation (31 000 dollars); si leur contribution directe est plus modeste, elle n'en demeure pas moins indispensable à la filière agroalimentaire canadienne[3].

L'intégration des technologies dans les entreprises agricoles suppose de bien cerner les besoins et les lacunes liées à leur déploiement dans les petites et moyennes entreprises agricoles et agroalimentaires, y compris dans les zones reculées, ainsi que les besoins des diverses catégories d'entrepreneurs et de travailleurs du secteur. Selon une étude publiée par McKinsey, environ 81 p. 100 des grandes exploitations agricoles utilisent déjà ou prévoient d'utiliser au moins un outil agricole numérique, un taux qui est plus élevé que celui indiqué par les autres exploitations – 76 p. 100 pour les exploitations de taille moyenne (2 000 à 5 000 acres) et 36 p. 100 pour les petites exploitations (moins de 2 000 acres)[4]. Le recours aux technologies agricoles étant sensiblement plus faible parmi les peuples autochtones et les groupes méritant l'équité, des interventions doivent être mises en place pour soutenir la prospérité des marchés agricoles et agroalimentaires.

Au cours des cent dernières années, le travail agricole s'est essentiellement centré sur l'élevage, les cultures, la maintenance des équipements et la

valorisation sommaire de la production de la ferme. Aujourd'hui, les entrepreneurs qui font le pari de la technologie sont de plus en plus spécialisés, privilégiant les activités de gestion (sélection, externalisation et optimisation des compétences) à l'exécution directe des tâches. L'essor des technologies agricoles attire de nouveaux acteurs et redéfinit les profils de réussite, et permet aux « néo-agroentrepreneurs » d'intégrer le secteur pour répondre à la pénurie de main-d'œuvre qualifiée, soit par intérêt, soit parce qu'ils disposent des compétences techniques nécessaires pour gérer des exploitations à la pointe de la technologie.

La technologie dans les agroentreprises canadiennes

Les technologies et les stratégies de réduction des coûts transforment progressivement les filières agricoles et agroalimentaires, au fil des évolutions du secteur. Les progrès tardent toutefois à se concrétiser. Dans le monde agricole, l'évolution se produit généralement par étapes et découle souvent d'innovations de rupture, une fois que celles-ci ont été exploitées dans des contextes divers ou améliorées au terme d'un processus itératif[5]. De manière générale, la technologie est venue faciliter la gestion des exploitations de grande taille. Ainsi, au cours des 70 dernières années, la superficie moyenne des fermes a plus que triplé et atteint 315 hectares[6], tandis que la taille des élevages a quasiment été multipliée par vingt sur la même période[7]. Parallèlement, l'automatisation des systèmes dans le domaine de la transformation des denrées alimentaires et des boissons a permis de réduire les coûts en aval qui pèsent sur la restauration et les services d'alimentation. Elle contribue également à faire face à l'évolution des habitudes de consommation des Canadiennes et des Canadiens, qui fréquentent de moins en moins les restaurants (environ 41 p. 100 du public) et tendent à privilégier les établissements moins onéreux (environ 38 p. 100 du public)[8].

Des analyses montrent que la majorité de la population canadienne (environ 62 p. 100) ***choisira un produit importé moins onéreux*** *plutôt qu'un équivalent* ***plus coûteux produit sur le territoire national****, et ce, même si ces personnes montrent un intérêt pour la production intérieure (environ 46 p. 100).*

Dans la filière des denrées alimentaires et des boissons, l'innovation ne peut se passer des technologies, qui permettent aux entreprises d'aligner leurs prix sur ceux du marché des importations. Des analyses montrent que la majorité de la population canadienne (environ 62 p. 100) choisira un produit importé moins onéreux plutôt qu'un équivalent plus coûteux produit sur le territoire national, et ce, même si ces personnes montrent un intérêt pour la production intérieure (environ 46 p. 100)[9]. Étant donné que près de 70 p. 100 des denrées consommées au Canada sont produites et transformées dans le pays, les économies rendues possibles par l'adoption des technologies pourraient entraîner une hausse de la consommation de produits locaux et favoriser la croissance du secteur[10, 11].

En contrepoids de la pénurie croissante de main-d'œuvre qualifiée et non qualifiée, le secteur agricole et agroalimentaire canadien parvient à tirer parti des avancées technologiques[12]. À titre d'exemple, selon l'Institut canadien des politiques agroalimentaires, le recours aux outils numériques dans la production de plein champ et en milieu contrôlé (notamment dans les serres) pourrait décupler la productivité, améliorer la compétitivité des entreprises, réduire les effets sur l'environnement, tout en dégageant entre 750 millions et 1,5 milliard de dollars de revenus annuels supplémentaires au profit des agroentreprises canadiennes[13]. D'autre part, l'organisme Ontario Genomics estime que la culture cellulaire et la fermentation de précision pourraient contribuer à hauteur de 18,8 milliards de dollars au PIB du Canada[14].

Les investissements et l'innovation dans le secteur sont essentiels pour amortir les conséquences du manque de personnel, dont le coût devrait se chiffrer à 3,1 milliards de dollars par an à l'échelle du secteur[15]. Diverses technologies sont aujourd'hui couramment utilisées dans l'agriculture en milieu rural, en contexte urbain et dans les environnements intérieurs contrôlés. Citons par exemple les systèmes autonomes appliqués au guidage et à la correction de la trajectoire des équipements, la surveillance des cultures par capteurs, la récolte (notamment le prélèvement robotisé), l'arrosage « intelligent » et la supplémentation en nutriments. La mise au point de nouveaux capteurs et de technologies (surveillance par capteurs électrochimiques, analyse par imagerie au service de la gestion des troupeaux, etc.), et le recours à l'intelligence artificielle (IA) pour étayer la prise de décision grâce à l'intégration de diverses sources de données, peuvent révolutionner la manière dont les aliments sont produits, transformés et distribués au sein du secteur agricole.

Le présent rapport dresse un état des lieux de l'adoption de technologies agricoles et agroalimentaires issues de plusieurs domaines, notamment les solutions numériques (plateformes infonuagiques de gestion des données, modèles prédictifs pour l'exploitation), l'agriculture de précision (GPS, système de correction automatique de trajectoire, fertirrigation de précision), les innovations qui sont déjà intégrées dans les pratiques (capteurs environnementaux et météorologiques) et les innovations plus récentes. Ces technologies trouvent leur utilisation dans plusieurs filières : la production alimentaire (mise au point de biostimulants, systèmes de détection innovants par imagerie assistée par l'IA au service de la lutte phytosanitaire), la transformation (nouveaux matériaux biocomposites) et la préparation en vue de la commercialisation (plateformes intelligentes pour l'achat et l'affectation des ressources destinées aux grossistes et aux distributeurs en épicerie). Dans le présent rapport, on examinera comment le secteur agricole et agroalimentaire se transforme sous l'effet des technologies, et quels sont les freins à l'adoption de la technologie pour les petites exploitations, en considérant les diverses catégories d'entreprises et de main-d'œuvre. Par ailleurs, l'attention sera portée sur plusieurs leviers d'action qui, par l'intermédiaire de la formation professionnelle, permettront d'améliorer les connaissances dans les domaines de la transformation numérique et de l'intelligence artificielle, de la gestion des données et des technologies, et en définitive de favoriser l'adoption des innovations.

Innovation et invention en agriculture

Introduction

Le Canada est un chef de file international en matière d'innovation dans le secteur agricole et agroalimentaire, avec un marché évalué à 954 millions de dollars en 2021, contre 617 millions en 2016[16]. Toutefois, l'offre technologique excède les usages effectifs et l'on note de fortes disparités en matière d'adoption selon la taille des entreprises et le profil des propriétaires. De ce fait, les agricultrices, agriculteurs et agroentreprises canadiens, loin d'adopter une position d'avant-garde, se retrouvent en posture réactive face aux concurrents extérieurs, qui s'imposent en intégrant d'emblée les technologies numériques pour relever les difficultés liées à la hausse du coût des intrants, aux risques climatiques et à l'évolution des marchés[17].

Ces écarts d'adoption découlent d'obstacles structurels et systémiques, à l'instar de cadres réglementaires tels que le Partenariat canadien pour une agriculture durable, qui relèguent au second plan l'équité et l'adoption proactive des innovations technologiques agricoles. Au Canada, les politiques relatives à ces technologies, obéissant à une logique réactive, n'entrent en jeu que lorsque les pressions liées aux changements climatiques se font sentir (évolution des régimes de précipitations et des températures, phénomènes météorologiques extrêmes). Ensuite seulement l'adoption des innovations dans l'agriculture de plein champ s'accélère, une fois que le fardeau économique lié au manque de participation a compromis la viabilité des entreprises et leur compétitivité[18, 19]. Ainsi, ce n'est que lorsque les États-Unis ont brandi la menace des droits de douane que le gouvernement du Canada a mis en place un appui plus important en faveur des agroentreprises. Ces dispositifs financiers, instaurés a posteriori, sont toutefois destinés à compenser les coûts d'exportation, et

Les agricultrices, agriculteurs et agroentreprises canadiens, loin d'adopter une position d'avant-garde, se ***retrouvent en posture réactive face aux concurrents extérieurs****, qui s'imposent en intégrant d'emblée les technologies numériques pour relever les difficultés liées à la hausse* ***du coût des intrants, aux risques climatiques et à l'évolution des marchés****.*

non à renforcer les capacités[20]. Pour préserver la compétitivité du marché canadien, l'équité intentionnelle et des politiques proactives propices à l'invention et à l'innovation continues en agriculture sont essentielles. Alors que l'agriculture canadienne se diversifie de plus en plus pour se différencier davantage sur les marchés, notamment par la contribution des immigrants à la reprise des exploitations canadiennes[21], un soutien constant, proactif et explicite est indispensable si l'on souhaite accroître la participation au secteur et accélérer l'adoption des technologies.

La section suivante dresse l'état des lieux des technologies agricoles existantes ainsi que des innovations adoptées par les entreprises agricoles et agroalimentaires.

L'innovation technologique en agriculture

Dans le secteur agricole, l'innovation est souvent synonyme de développement d'idées nouvelles, par opposition à l'adoption de nouveaux outils, variétés culturales, ou techniques (matériel de récolte, modification du germoplasme, itinéraires de culture guidés par l'agronomie)[22]. Au regard de cette définition, on constate que le niveau d'innovation est particulièrement élevé dans le secteur.[23] Si les inventions naissent généralement au sein de grandes sociétés – ce qui confine souvent l'utilisation des dispositifs aux grandes exploitations agricoles et agroalimentaires –, les petits exploitants n'en demeurent pas moins innovants, même s'ils déposent peu de demandes de brevets. Les agricultrices et agriculteurs canadiens comptent d'ailleurs parmi les principaux utilisateurs de l'Internet des objets[24, 25] et ont largement repensé leurs exploitations au moyen d'activités à valeur ajoutée pour s'adapter, diversifier leur offre et renforcer la résilience de leurs modèle[26, 27]. En Ontario, des modifications fiscales adoptées en 2018 ont permis d'exploiter de nouveaux débouchés en matière de vente au détail de produits agricoles, via notamment les espaces de vente à la ferme, les infrastructures liées à la valorisation des produits, comme la transformation et la vente directe de produits locaux aux consommateurs, ainsi que le développement de l'agrotourisme (séjours à la ferme, visites et autres activités récréatives)[28]. L'innovation conduit à repenser les processus existants et à les adapter; les nouveautés légères sont mises à l'essai et perfectionnées par itérations successives et débouchent sur des inventions qui sont intégrées aux pratiques agricoles sur le terrain[29]. Plusieurs innovations agricoles sont présentées ci-après.

Agriculture en environnement contrôlé (AEC)

En AEC, la production s'effectue dans des serres traditionnelles en verre, en polyéthylène ou en polycarbonate, dans des fermes verticales intérieures, ou dans d'autres espaces confinés (fermes modulaires en conteneurs d'expédition, enceintes à atmosphère contrôlée, etc.)[30]. Sur le plan technologique, l'AEC est un terrain d'application pour de nombreuses technologies de fertirrigation et d'irrigation, et pour les capteurs de données chimiques, physiologiques et biologiques. Selon l'Institut canadien des politiques agroalimentaires, les outils numériques actuellement utilisés en environnement contrôlé (à savoir, les serres) accroissent la productivité, améliorent la compétitivité des entreprises et réduisent l'empreinte environnementale. Ils devraient par ailleurs permettre aux agroentreprises canadiennes de dégager des recettes annuelles supplémentaires de l'ordre de 750 millions à 1,5 milliard de dollars[31]. Le Canada compte près de 920 entités spécialisées dans l'AEC à vocation commerciale qui contribuent à la croissance du secteur agricole et agroalimentaire[32, 33].

Les exploitations serricoles canadiennes ont considérablement élargi leurs activités en vue de répondre aux besoins de production en milieu urbain et de pallier le manque de ressources des producteurs agricoles en région rurale et dans les zones reculées; parallèlement, les performances culturales se sont améliorées grâce aux solutions technologiques. La serriculture est à l'origine d'environ 39 p. 100 des fruits et légumes produits au Canada et sa contribution à l'industrie horticole avoisine deux milliards de dollars[34]. Les serres traditionnelles dotées de systèmes intelligents de gestion de l'irrigation permettent déjà de réduire la consommation d'eau à concurrence de 90 p. 100, pour une empreinte environnementale réduite[35]. Grâce aux gains d'efficience, les fermes verticales clés en main équipées de technologies réalisent des économies d'eau de l'ordre de 98 p. 100 environ et occupent 99 p. 100 de surface foncière en moins[36]. En AEC, ces gains offrent un début de réponse au principal écueil économique auquel se heurtent les jeunes agriculteurs et les agriculteurs immigrés, selon Financement agricole Canada[37]. En outre, la culture en AEC requiert souvent moins d'apports en matière organique et moins de terres arables, offrant ainsi une solution plus souple aux entreprises agricoles installées en milieu rural.

Ces possibilités peuvent aussi présenter un intérêt pour les communautés autochtones lorsque l'exploitation à des fins agricoles est proscrite sur les terres de réserves ayant fait l'objet d'une désignation ou sur les terres communautaires[38].

Plateformes d'agrégation des données

Les entrepreneuses et entrepreneurs du secteur agricole et agroalimentaire maîtrisent déjà un large éventail de technologies (suivi des cultures, fertirrigation et systèmes d'irrigation), mais l'intégration de données à partir de sources multiples est encore mal connue. Or, il devient essentiel de disposer de plateformes d'agrégation de données pour stimuler l'innovation agricole et intégrer les technologies de pointe. Les divers usages de l'intelligence artificielle, de l'Internet des objets et de l'analyse des données sont source de progrès en ce qui concerne la durabilité et les pratiques culturales[39]. L'intelligence artificielle couplée à l'intégration des données permet de compiler les variables relatives aux environnements externe et interne et d'automatiser la régulation des conditions ambiantes, l'objectif étant de réaliser des économies d'énergie et d'obtenir de meilleurs rendements dans les systèmes reposant sur l'AEC. Le concept d'Internet des objets désigne un ensemble de composants matériels (capteurs, mécanismes de commande, accessoires, appareils ou machines) qui sont associés à des fonctions et qui permettent de transmettre des données via Internet ou d'autres réseaux[40]. Cette technologie est étroitement compatible avec les modèles d'intelligence artificielle[41], puisque les parcelles, les données recueillies par des capteurs d'humidité, l'emplacement des cultures, les vannes et les volumes d'irrigation, la masse des végétaux, entre autres, sont convertis en objets numériques qui peuvent être surveillés ou contrôlés à distance. Elle permet par ailleurs de simplifier les tâches qui, autrement, auraient requis une présence sur le terrain[42, 43].

Technologies de capteurs

En agriculture de plein champ comme en agriculture en milieu confiné, divers capteurs environnementaux sont utilisés pour suivre l'humidité du sol et de l'air, ainsi que la température[44]. En complément, des systèmes de vision servent à la surveillance des cultures, des maladies et des organismes nuisibles. Les capteurs d'humidité du sol servent depuis toujours à rationaliser la gestion de l'eau – ce qui permet de gérer plus judicieusement l'eau d'irrigation, qui représente 70 p. 100 des prélèvements mondiaux d'eau douce[45]–, afin d'apporter la bonne quantité d'eau, au bon moment et au bon endroit, selon les besoins des cultures. Le plus souvent, les capteurs au sol mesurent la constante diélectrique du sol au moyen de technologies de mesure par capacitance; d'autres méthodes sont également utilisées, notamment la télédétection infrarouge, la pesée de la masse sèche, les tensiomètres et les sondes à neutrons[46]. Les capteurs d'humidité ambiante contribuent également à orienter les pratiques

Les logiciels peuvent produire des informations sur la santé des végétaux à partir des indices de végétation et des images multispectrales prises par satellite, qui permettront ***d'anticiper les rendements des cultures*** *et de* ***gérer les difficultés liées à l'environnement*** *que les opérateurs agricoles et agroalimentaires seraient susceptibles de rencontrer.*

culturales et les décisions en matière d'irrigation[47]; les données qu'ils recueillent sont utilisées pour calibrer le déclenchement des ouvertures et de la ventilation en agriculture en environnement contrôlé et dans les infrastructures d'élevage, ce qui permet de limiter l'apparition des maladies et des infestations[48, 49], les niveaux d'humidité étant maintenus en deçà des seuils propices aux infections[50, 51, 52]. Enfin, des capteurs de température et de variables d'environnement sont couramment utilisés dans l'industrie de la transformation des denrées alimentaires et des boissons, pour les besoins de l'assurance qualité.

Dans le cadre de la surveillance des cultures, les capteurs optiques sont fréquemment employés pour suivre les stades phénologiques, la croissance des végétaux et les rendements, détecter la présence de ravageurs et de maladies, et suivre la production.

À titre d'exemple, des caméras RVB permettent de « marquer » les plants selon leur stade de développement et d'établir en conséquence le plan de récolte destiné aux équipes. La détection appliquée aux cultures permet de repenser l'organisation du travail de manière innovante : les données collectées seraient transmises à une plateforme de capteurs connectée à un dispositif de récolte autonome, qui prélèverait les fruits arrivés à maturité, préalablement géolocalisés, permettant ainsi de diminuer la charge de travail. En agriculture de plein champ, ces technologies équipent déjà de nombreux drones agricoles et sont utilisées par les fournisseurs d'orthophotographies et d'images prises par satellite; l'analyse de grands ensembles de données spectrales et d'images permet de surveiller les cultures, d'optimiser la santé des végétaux, de prévoir les rendements et de gérer efficacement les ressources[53, 54]. Dans l'industrie de la production de denrées alimentaires, ces systèmes peuvent être utilisés pour accélérer les cadences et obtenir une uniformité des produits lors des processus de transformation et de conditionnement. En exploitant les données relevées par l'ensemble

de ces capteurs, les solutions fondées sur l'intelligence artificielle peuvent faire évoluer les pratiques. Par exemple, les logiciels peuvent produire des informations sur la santé des végétaux à partir des indices de végétation et des images multispectrales prises par satellite, qui permettront d'anticiper les rendements des cultures et de gérer les difficultés liées à l'environnement que les opérateurs agricoles et agroalimentaires seraient susceptibles de rencontrer[55].

Par ailleurs, les capteurs de dernière génération permettent d'améliorer les conditions de culture grâce à l'analyse des biomarqueurs et des paramètres micro-environnementaux, ainsi qu'à la transduction des signaux biologiques en signaux électriques exploitables pour l'analyse des données. Il s'agit notamment de technologies de surveillance des signaux électrochimiques installées dans les cultures (telles que celles proposées par Vivent[MD] Biosignals) et de biocapteurs biodégradables non invasifs placés directement sur la plante. Pour suivre la croissance des végétaux, des capteurs embarqués mesurent des caractéristiques telles que l'expansion et l'élongation cellulaires. De même, d'autres dispositifs ont été mis au point pour analyser les mécanismes de transduction relatifs au transfert des gaz, des liquides et des sucres au sein des tissus végétau[56, 57].

La baisse du prix des capteurs, grâce à la production en série, a favorisé leur adoption à grande échelle par les entreprises agricoles et agroalimentaires[58]. Dans le cadre d'un usage véritablement innovant, ces dispositifs doivent être connectés à des plateformes de capteurs autorisant leur déploiement à grande échelle dans l'exploitation et l'intégration progressive des technologies de pointe, au fur et à mesure que celles-ci seront développées.

Systèmes de distribution des éléments nutritifs et de l'eau

Les systèmes d'irrigation de précision et d'amendement en nutriments sont essentiels pour optimiser l'utilisation des ressources. Dans un contexte de raréfaction progressive de l'eau et des nutriments nécessaires au maintien des niveaux de production actuels, des gains d'efficience s'imposent. Ces systèmes permettent d'apporter la juste dose au bon moment, au bon endroit et sous la forme appropriée (engrais liquide ou en granulés, pulvérisation foliaire d'ensemble ou distribution au goutte-à-goutte au niveau du substrat)[59]. Ils permettent ainsi de maximiser l'absorption par les plantes, de diminuer le gaspillage et, partant, de limiter les effets potentiellement délétères de la fertirrigation sur l'environnement[60], tout en réduisant les dépenses liées aux ressources et en optimisant les rendements. L'irrigation contrôlée et les systèmes de distribution des nutriments sont utilisés tant en agriculture de plein champ en milieu rural qu'en AEC, l'automatisation et l'intégration avec d'autres systèmes étant toutefois plus répandues

dans cette dernière. Les serres traditionnelles dotées de dispositifs d'arrosage intelligents permettent déjà de réduire la consommation d'eau jusqu'à 90 p. 100[61], et de réduire ainsi l'empreinte environnementale. Grâce aux gains d'efficience, les fermes verticales clés en main équipées de technologies réalisent des économies d'eau de l'ordre de 98 p. 100 environ et occupent 99 p. 100 de surface en moins[62]. L'amélioration de l'efficience opérationnelle en matière d'occupation du foncier et d'utilisation des services collectifs offre un début de solution au principal écueil économique auquel se heurtent les jeunes agriculteurs et les agriculteurs immigrés, selon Financement agricole Canada[63]. Les infrastructures de données alimentées par plusieurs capteurs permettent de surveiller les cultures de manière continue et de relever les paramètres relatifs aux conditions ambiantes, comme l'humidité du sol. Les plans d'irrigation peuvent être ajustés en temps réel afin que l'eau soit distribuée selon les besoins, de manière à accroître les rendements et à utiliser les ressources de manière plus efficiente[64, 65, 66].

Sol et milieu de croissance

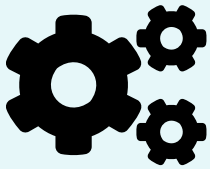
Les progrès en matière de développement des milieux de culture visent principalement l'AEC. Divers substrats ont déjà été mis à l'essai dans le cadre d'autres systèmes de production – substrats enrichis au biocharbon, à base de tourbe ou de résidus (fibre de coco, fibre de bois, produits à base d'écorce)[67, 68]–, et des systèmes de culture hors sol, comme l'hydroponie et l'aéroponie, ont également été éprouvés. En définitive, la sélection du substrat et du système de production sera déterminée par les prescriptions relatives à l'optimisation des pratiques culturales, qui visent à améliorer la rétention de l'eau, la disponibilité en éléments nutritifs pour les plantes, et le cycle complet de développement des végétaux[69, 70]. La culture en AEC requiert souvent moins d'apports en matière organique et moins de terres arables, offrant ainsi une solution plus souple aux entreprises agricoles installées en milieu rural. Ces possibilités peuvent présenter un intérêt pour les communautés autochtones lorsque l'exploitation à des fins agricoles est proscrite sur les terres de réserves ayant fait l'objet d'une désignation ou sur les terres communautaires.

Systèmes de production d'énergie renouvelable

Dans les zones reculées et dans les régions rurales, l'intégration de sources d'énergie renouvelable, comme l'association entre énergie géothermique et énergie solaire, et l'optimisation de leur usage permettent de développer la production agricole là où l'accès aux réseaux de distribution est limité[71]. Ces systèmes, qui renforcent l'autonomie des exploitations, révolutionnent les pratiques culturales. Grâce à la baisse du coût des technologies en énergie solaire, qui est désormais la source d'électricité la moins onéreuse[72], la production d'énergie renouvelable sur les exploitations a

presque doublé entre 2015 et 2021. Près de 11,9 p. 100 des fermes canadiennes, toutes tailles d'exploitations confondues, utilisent au moins une forme d'énergie renouvelable[73]. Parmi celles-ci figurent l'énergie de la biomasse (environ 2,9 p. 100), l'énergie géothermique (environ 1,9 p. 100), l'énergie solaire (environ 7,7 p. 100) et l'énergie éolienne (environ 1,0 p. 100)[74]. Dans l'industrie de la production et du conditionnement des denrées alimentaires, les sources d'énergie durable et renouvelable réduisent sensiblement l'impact environnemental global et sont appréciées pour la maîtrise des coûts et l'indépendance qu'elles procurent, en particulier dans les zones de production reculées où l'accès aux infrastructures électriques est onéreux et peu fiable[75]. Les énergies renouvelables et les systèmes de gestion de l'énergie (valorisation énergétique des déchets, récupération de chaleur, etc.) peuvent contribuer par ailleurs à l'économie circulaire par l'intermédiaire des activités de séchage des aliments, de chauffage des installations et d'évaporation, ainsi que des processus de distillation, de stérilisation et de pasteurisation dans le cadre de la transformation des denrées alimentaires et des boissons[76].

Dans les zones rurales du Nord, la faible insolation peut limiter l'autonomie procurée par l'agrivoltaïsme à grande échelle, ainsi que par les stratégies d'éclairage naturel et la production d'électricité solaire. En revanche, le chauffage passif par géothermie y donne d'excellents résultats; il peut être associé à des systèmes solaires dans les contextes résidentiel, commercial et industriel, et déployé dans les zones reculées où l'accès à l'électricité est limité[77]. En outre, nombre de ces technologies peuvent être largement exploitées dans les zones agricoles rurales du Canada, qui se concentrent pour l'essentiel autour de la frontière méridionale.



Dans les zones reculées et dans les régions rurales, l'intégration de sources d'énergie renouvelable, comme ***l'association entre énergie géothermique et énergie solaire****, et l'optimisation de leur usage permettent de développer la production agricole là où l'accès aux réseaux de distribution est limité.*

Robotisation et systèmes agricoles autonomes

La robotisation de la production agricole permet d'améliorer les résultats en matière de récolte, en particulier en agriculture en environnement contrôlé, et ainsi de pallier la pénurie croissante de travailleuses et travailleurs pour les emplois à temps partiel ou à durée déterminée observée au cours des dix dernières années[78]. La main-d'œuvre demeure le principal poste de dépenses en serriculture – elle représentait 31 p. 100 des coûts moyens d'exploitation en 2019[79]–, essentiellement affectée à la protection des cultures et aux activités de récolte[80, 81]. De la même manière, la technologie peut compenser le manque de main-d'œuvre dans l'industrie de la production et du conditionnement des denrées alimentaires. Selon la Banque de développement du Canada et Compétences Transformation Alimentaire Canada, quelque

*La robotisation de la production agricole permet **d'améliorer les résultats en matière de récolte**, en particulier en agriculture en environnement contrôlé, et ainsi de pallier la **pénurie croissante de travailleuses et travailleurs pour les emplois à temps partiel** ou à durée déterminée observée au cours des dix dernières années.*

142 000 postes seront à pourvoir d'ici 2030 pour couvrir des activités telles que l'assemblage de caisses et de boîtes (conditionnement), l'empaquetage, et la palettisation (préparation de produits pour l'expédition)[82, 83]. Les investissements dans l'automatisation ont en outre généré des gains substantiels de productivité et de revenus dans les secteurs à valeur ajoutée[84]. La robotisation des activités agricoles et agroalimentaires marque une bascule dans ce secteur qui s'appuyait, pour l'essentiel, sur la main-d'œuvre et contribuera, grâce aux nouvelles méthodes, à améliorer les processus naturels tels que la pollinisation directe dans les fermes verticales[85]. En AEC, la robotisation a amélioré les résultats des cultures grâce aux fonctionnalités de détection des maladies et des ravageurs, et à l'optimisation de la surveillance des cultures[86]. AS'agissant des fermes verticales, la surveillance des maladies et des ravageurs au moyen de l'intelligence artificielle s'avère particulièrement utile aux fins de l'assurance indexée sur le rendement, puisque Santé Canada n'a pas approuvé, au titre du Règlement sur les produits antiparasitaires, l'utilisation de pesticides dans ces environnements de production agricole contrôlés[87].

Modification du germoplasme

Les innovations apportées au domaine de la modification du germoplasme soutiennent l'innovation culturale, apportent une solution aux transitions de la main-d'œuvre dans le secteur agricole et agroalimentaire, et permettent de donner suite aux appels croissants en faveur d'une production plus résiliente face aux changements climatiques. Au Canada, la culture en pleine terre se heurte à la variabilité de l'environnement et aux cycles saisonniers[88]. L'AEC, qui permet de conduire les cultures en toute saison, apporte une solution à cette difficulté. Face au manque d'effectifs saisonniers, les exploitations dépendent souvent de la main-d'œuvre étrangère pour pourvoir les emplois à durée déterminée dans la production en AEC. En raison des fluctuations de l'offre d'emploi, les vacances de poste dans le secteur devraient augmenter de 34 p. 100 au cours des huit prochaines années et près de 6 200 postes seront à pourvoir en 2030, alors qu'un taux record de vacances de 8,2 p. 100 avait déjà été enregistré en 2022[89]. Les activités de recherche et développement consacrées au germoplasme se rapportent notamment à la création de cultivars fruitiers « à production continue », en particulier des cultivars de baies[90], dont la culture pourrait contribuer à accroître et stabiliser l'emploi dans le secteur[91], et offrir aux travailleuses et travailleurs étrangers qualifiés une voie plus stable vers la naturalisation. Parallèlement, grâce aux biotechnologies, la recherche sur le germoplasme végétal permet de produire des cultivars génétiquement modifiés résistants aux aléas

climatiques et sobres en ressources hydriques[92]. Elle est notamment promue par l'intermédiaire du projet fédéral intitulé Génomique pour l'adaptation et la résilience au changement climatique (GenARCC)[93]. Dans le passé, la recherche sur le germoplasme a permis de diminuer les attaques de ravageurs et leur prolifération dans les grandes cultures en ligne[94], d'apporter des modifications au phénotype des végétaux, au cycle de croissance, et, en définitive, d'améliorer les rendements afin d'atteindre les objectifs poursuivis par le Canada en matière de culture[95], et ce, malgré des préoccupations concernant le flux génétique, l'érosion de la biodiversité des plantes cultivées, et la question de l'encadrement des activités de modification génétique par les lois relatives à la propriété[96].

Biostimulants

Les bioinnovations apportent des solutions aux impératifs de fertirrigation et de gestion des maladies et des ravageurs (en tant qu'agents de lutte biologique)[97, 98, 99]. Les biostimulants comprennent les acides humiques et fulviques (utilisés en tant qu'amendements du sol ou des supports de culture), employés pour améliorer la biodisponibilité de composés azotés et l'activité des fixateurs de l'azote atmosphérique, ainsi que des bactéries et les champignons auxiliaires (champignons mycorhiziens et champignons endophytes), dans le cadre de la désinfestation et de la gestion phytosanitaire[100, 101, 102]. Des biostimulants peuvent en outre être utilisés directement dans les processus de transformation des denrées alimentaires et des boissons (pour produire, par exemple, des boissons enrichies aux algues ou aux extraits de plantes) pour accroître l'attrait commercial de ces produits[103].

L'adoption des innovations existantes, l'adaptation des pratiques aux technologies nouvelles ou la mise au point de nouvelles pratiques, imposent de mettre en place des formations adaptées à destination des acteurs du secteur pour renforcer leurs compétences techniques, numériques et en intelligence artificielle. D'autre part, il importe de lever les obstacles intersectionnels qui restreignent l'accès à la formation et aux ressources nécessaires au déploiement des technologies, et de lutter contre les biais systémiques relatifs à l'intégration des technologies dans le secteur agricole et agroalimentaire.

Déterminants de l’adoption des technologies

Introduction

Les disparités en matière d’adoption des technologies agricoles dans les entreprises s’expliquent par divers facteurs sociaux, économiques, techniques et politiques. Le principal en cause est le coût des technologies et des services agricoles[104]. Bon nombre d’outils ne sont pas adaptés aux plus petites entreprises agricoles et agroalimentaires ni à celles détenues par des personnes issues de la diversité[105, 106, 107, 108]. Ils répondent davantage aux besoins des grandes exploitations, dont les capacités institutionnelles leur permettent de faire appel à des spécialistes. En principe, la technologie est vouée à « égaliser les chances » entre les entreprises de toutes tailles. Dans la pratique, les innovations technologiques destinées au secteur tendent toutefois à accentuer la fracture numérique. En effet, plus les grandes exploitations adoptent les technologies, plus elles renforcent leur capacité de développement et leur efficacité, captent des parts de marché supplémentaires, et deviennent donc la cible privilégiée des inventions agricoles et agroalimentaires. En outre, les peuples autochtones, les groupes méritant l’équité et les PME du secteur ne sont généralement que peu familiers des technologies numériques et de l’intelligence artificielle, et ne possèdent pas toujours les compétences techniques spécialisées requises pour comprendre les technologies, en évaluer l’intérêt pour leur activité et les déployer là où elles seront utiles. Dans la présente section, il sera question des conditions préalables à l’adoption des technologies dans le secteur agricole et agroalimentaire.

Déterminants de l'adoption des technologies

Conditions relatives aux ressources financières

Le principal frein à l'adoption des technologies est la hausse des coûts de production, dont les effets s'aggravent lorsque s'y additionnent des coûts de déploiement dissuasifs, les dépenses liées à l'élaboration de formations professionnelles à l'intention des petites entreprises agricoles et agroalimentaires et de celles détenues par des personnes issues de la diversité, ainsi que les frais de maintenance des technologies.

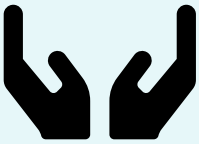
Les charges d'exploitation des entreprises agricoles augmentent de manière soutenue, non sans répercussions sur les acteurs situés en aval de l'industrie de transformation des denrées alimentaires et des boissons, et sur les services d'alimentation[109]. En 2018, les dépenses liées à l'alimentation du bétail ont progressé de 9,4 p. 100, tandis que le coût du travail sur l'exploitation a fait un bond de 7,3 p. 100[110]. Si, globalement, les exploitations ont amélioré leur rentabilité[111], on ignore si la hausse du prix des engrais résultant des tensions géopolitiques mondiales, notamment de l'invasion de l'Ukraine par la Russie, et les droits de douane appliqués sur les produits exportés vers les grands partenaires commerciaux aux États-Unis et en Chine ne continueront pas de saper cette rentabilité, et donc d'alourdir davantage la facture des entreprises situées en aval du secteur.[112, 113, 114, 115] Les incertitudes économiques qui pèsent encore sur l'approvisionnement en matières premières et les activités d'exportation, ainsi que la disponibilité de soutiens en faveur des agroentreprises, pourront influer sur la capacité de ces dernières à améliorer davantage leur ratio charges/produits. Ces effets risquent d'affecter les PME agricoles et agroalimentaires, dont le nombre de fournisseurs et la marge de manœuvre en matière de maintien de la production sont limités[116].

Les coûts d'acquisition des technologies et des nouveaux biens d'équipement (outils de travail du sol, matériel de conditionnement) sont pour bon nombre de PME un frein à l'adoption de solutions de pointe. Dans l'industrie de la transformation des denrées alimentaires et des boissons (qui rassemble environ 7 600 entreprises), la grande majorité des opérateurs (91 p. 100 environ) sont des PME[117]. Insuffisamment dotées en fonds propres, elles ne disposent pas des ressources nécessaires à l'adoption des innovations[118]. Les PME agricoles sont les premières à privilégier des solutions qui permettent de renforcer l'efficacité opérationnelle à moindre coût, telles que la sélection variétale et l'ajustement des rotations (par exemple, passer du blé au canola sans jachère d'été), et ainsi d'améliorer les rendements[119]. Si les PME et les agripreneuses et agripreneurs issus de la diversité ne sont pas réfractaires à la technologie et à l'innovation, leurs contraintes financières les empêchent néanmoins de déployer les innovations existantes.

Conditions relatives aux compétences

Le coût lié au développement des compétences, ainsi que les possibilités de mise en pratique, vont déterminer quels profils auront accès aux dispositifs de formation et influeront par conséquent sur leur capacité à maîtriser les technologies, à les exploiter et à les mobiliser pour innover dans le secteur agricole. Les candidates et candidats à l'emploi souhaitant perfectionner leurs compétences doivent souvent en assumer eux-mêmes la charge financière, ce qui peut constituer un obstacle s'ils souhaitent accéder à des postes plus techniques dans le secteur agricole et agroalimentaire. Des initiatives gratuites existent, à l'instar du dispositif mis en place par l'organisme Rehausser vos compétences et le gouvernement du Canada qui propose des formations techniques aux spécialistes de l'agroalimentaire, et de l'agriculture et la fabrication de pointe[120]. Toutefois, ces offres gratuites ont souvent une portée généraliste et ne tiennent pas suffisamment compte des considérations relatives aux effectifs. La formation professionnelle est incontournable pour aider les acteurs du secteur à adopter de nouvelles technologies, à accroître leur efficacité opérationnelle, et à développer des innovations technologiques qui permettront de soutenir la hausse des coûts grâce aux économies de fonctionnement générées et aux possibilités offertes en matière d'élargissement des activités, et pour préserver, en définitive, la compétitivité des marchés agricole et agroalimentaire canadiens.

Dans le secteur agricole, la transmission des savoirs et des pratiques agricoles s'effectue traditionnellement au sein des familles d'agriculteurs, d'une génération à une autre[121]. Malgré leur valeur intrinsèque, les savoirs issus de la transmission familiale et de l'observation ne préparent pas à l'adoption des pratiques nouvelles, fondées sur la technologie, qui sont utilisées dans l'agriculture moderne et ne permettent pas d'acquérir les compétences nécessaires dans ce domaine[122]. Le fait de s'en remettre exclusivement aux savoirs transgénérationnels tendra à accentuer les écarts de compétences; en effet, il se peut que les personnes plus âgées aient une moindre maîtrise des nouveaux outils qui s'avèrent indispensables à une meilleure adoption, et que les plus jeunes générations, bien que plus ouvertes à l'innovation et aux avancées agrotechnologiques, se fient davantage à ces savoirs[123].



Dans le secteur agricole, la transmission des savoirs et ***des pratiques agricoles s'effectue traditionnellement au sein des familles d'agriculteurs****, d'une génération à une autre. Malgré leur valeur intrinsèque, les savoirs issus de la transmission familiale et de l'observation* ***ne préparent pas à l'adoption des pratiques nouvelles, fondées sur la technologie****, qui sont utilisées dans l'agriculture moderne et ne permettent pas d'acquérir les compétences nécessaires dans ce domaine.*

S'il existe des initiatives de formation, peu de programmes visent spécifiquement les PME et les entrepreneuses, entrepreneurs, travailleuses

et travailleurs issus de la diversité qui travaillent dans le secteur agricole et agroalimentaire. Les formations consacrées au secteur se rapportent souvent aux programmes de certification offerts par les universités et les collèges, et sont généralistes[124, 125, 126]. Les études réalisées par le Centre des compétences futures soulignent qu'il est nécessaire de diversifier les programmes d'enseignement et de formation professionnelle en proposant, notamment, l'obtention de microcertifications ou de certificats professionnels, et des possibilités d'apprentissage intégré au travail au sein des entreprises agricoles et agroalimentaires[127].

Faute de personnel et d'entrepreneurs qualifiés, le secteur agricole et agroalimentaire est contraint de faire appel à des spécialistes techniques sous contrat pour intégrer les technologies et développer l'automatisation. Les PME et les entreprises détenues par des personnes issues de la diversité qui recourent à ces prestataires se disputent, elles aussi, cette main-d'œuvre qualifiée, ce qui peut retarder davantage l'automatisation et l'intégration de nouvelles technologies[128]. Si les besoins de main-d'œuvre en agriculture primaire peuvent être appelés à diminuer, la demande de professionnels plus qualifiés et diplômés est quant à elle appelée à s'intensifier, étant donné que la transition vers l'automatisation doit pouvoir être opérée sans dépendre outre mesure de prestataires qualifiés employés sous contrat[129].

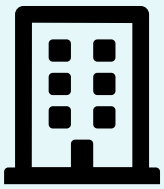
Les PME, ainsi que la main-d'œuvre et les propriétaires d'entreprises issus de groupes méritant l'équité n'ignorent pas l'intérêt de la technologie[130]. Toutefois, pour que ses avantages se concrétisent, une formation non technique complémentaire est nécessaire, de manière que la compatibilité des technologies et les bénéfices attendus des innovations puissent être mieux appréhendés[131]. Les technologies qui viennent compléter et s'aligner sur les pratiques agricoles actuelles, ou qui garantissent une plus grande compatibilité grâce à leur intégration transparente, affichent des taux d'adoption supérieurs. Les dispositifs utilisés dans l'agriculture de précision qui viennent exploiter et affiner les connaissances et les systèmes existants (comme les systèmes GPS ou les autres systèmes qui s'interfacent avec les équipements sans perturber les opérations) sont perçus par les agriculteurs comme plus fiables et plus faciles d'emploi que les systèmes radicalement nouveaux[132, 133]. Pour apprécier le coût relatif, la productivité et l'efficacité des nouvelles technologies, les agricultrices et agriculteurs doivent comprendre non seulement l'objet de la technologie, mais aussi les considérations pratiques liées à son intégration dans leur exploitation. La simple connaissance des technologies et de leur fonctionnement ne suffit plus et la maîtrise des outils de prévision économique et des cadres de prise de décision revêt une importance croissante dans l'adoption des technologies[134]. L'appropriation de certaines est plus intuitive, et les agricultrices et agriculteurs et les entreprises agroalimentaires se montrent plus enclins à investir lorsqu'ils constatent clairement les retombées économiques[135]. À titre d'exemple, des producteurs de lait se sont étonnés du niveau de connaissances informatiques requis pour utiliser les technologies et ont déclaré ne pas savoir interpréter les données obtenues[136]. Près de 95 p. 100 des données et des informations

agricoles sont produites sous forme brute et non structurée; or, les PME et les agroentrepreneuses et agroentrepreneurs ne possèdent généralement pas les compétences nécessaires pour les organiser et les traduire en orientation concrète pour leurs activités[137]. Les plus petites exploitations sont, de ce fait, moins susceptibles de collecter des données ou de suivre les recommandations des outils, faute d'en comprendre les résultats. Par ailleurs, en raison de leur défiance à l'égard des grandes sociétés, bon nombre d'entre elles s'abstiennent d'utiliser les infrastructures de stockage des données et les technologies, et, de ce fait, ne développement pas les compétences nécessaires à utilisation de ces dernières[138, 139].

Face au déficit de compétences et de connaissances, il est indispensable de proposer des formations axées sur les compétences métier requises dans le secteur agricole et agroalimentaire, de sorte que les effectifs puissent exploiter pleinement les possibilités offertes par les nouvelles

technologies numériques et en tirer le meilleur parti. Il existe plusieurs référentiels de compétences pour le secteur, mais ceux-ci portent avant tout sur la production de plein champ et sur l'élevage de bétail[140, 141, 142, 143, 144]. Les compétences techniques liées aux services à valeur ajoutée, à la production et à la transformation agroalimentaires sont quant à elles moins précisément définies. La Banque Royale du Canada a recensé plusieurs compétences techniques nécessaires pour assurer l'avenir de l'agriculture canadienne. Il s'agit notamment des compétences techniques numériques, des aptitudes en matière de direction et de la pensée critique, qui permettent de gérer les grandes exploitations agricoles (propriétaires et exploitants); des compétences technologiques requises pour outiller et configurer les robots, programmer, comprendre et mettre en service les logiciels (techniciennes et techniciens en équipement agricole); ainsi que des compétences techniques spécialisées acquises dans le cadre de la formation supérieure dans des domaines comme la génétique, l'intelligence artificielle, l'imagerie avancée et l'usinage de pointe[145, 146]. La nécessité de former la main-d'œuvre à l'utilisation de ces outils est perçue comme un frein à l'adoption et entraîne une érosion de la confiance à l'égard des recommandations agronomiques. Il y a donc lieu d'adopter une stratégie de développement des compétences agricoles globale qui soit axée sur la consolidation des connaissances numériques et sur la préparation des exploitations, de sorte à renforcer la confiance à l'égard des nouvelles formes de technologies qui ont prouvé leur efficacité[147].

Des initiatives telles qu'Innovation Farms, menée sur une ferme commerciale de 5 500 acres au Manitoba, offrent à la communauté scientifique, aux porteurs d'innovations, aux grands groupes du secteur, aux chefs d'entreprises et aux spécialistes un cadre pour la mise à l'essai, la validation et la démonstration des technologies agricoles numériques et des



Peu de petites entreprises mettent au point des technologies spécifiquement destinées aux PME, à celles ***installées dans des zones reculées****, et à celles dirigées par des* ***personnes issues de groupes méritant l'équité****. Lorsque ces groupes ne sont pas la* ***cible prioritaire des inventions****, ces dernières suscitent un intérêt moindre de leur part, ce qui* ***restreint leur capacité à contribuer au processus d'innovation****.*

solutions innovantes. Ces initiatives contribuent à atténuer le risque qui se pose le plus fréquemment aux productrices et producteurs, en associant outils concrets et renforcement des compétences, l'objectif étant de donner aux parties concernées les moyens d'évaluer le rendement du capital investi et de prendre des décisions éclairées avant l'adoption définitive d'une technologie[148]. Mise en place dans le cadre de l'Enterprise Machine Intelligence & Learning Initiative (EMILI), la Canadian Agri-Food Data Initiative [initiative en faveur de l'utilisation des données au service du secteur agroalimentaire canadien] propose quant à elle des formations en gestion des données pour doter les agriculteurs et les producteurs de connaissances fondamentales et de compétences en matière de gouvernance des données agricoles[149].

Conditions relatives à l'exploitation des technologies

Dans le domaine agricole, les inventions sont souvent le résultat d'un travail de recherche et de développement intensif mené par des équipes scientifiques et par des personnes possédant un vaste bagage en sciences et en ingénierie. Par ailleurs, ces inventions sont généralement conçues pour les grandes exploitations agricoles et agroalimentaires, qui disposent d'un savoir-faire spécialisé[150, 151]. Le faible niveau d'adoption des technologies peut s'expliquer par l'impossibilité de réaliser des économies d'échelles sur les plus petites exploitations. Peu de petites entreprises mettent au point des technologies spécifiquement destinées aux PME, à celles installées dans des zones reculées, et à celles dirigées par des personnes issues de groupes méritant l'équité. Lorsque ces groupes ne sont pas la cible prioritaire des inventions, ces dernières suscitent un intérêt moindre de leur part, ce qui restreint leur capacité à contribuer au processus d'innovation[152, 153, 154]. Les technologies agricoles qui voient le jour sur une ferme font figure d'exceptions, à l'instar de l'entreprise CATTLEytics. Fondée par une femme, elle est l'une des rares entreprises technologiques du secteur de la production laitière à avoir été fondée par une spécialiste de la filière. CATTLEytics propose des solutions qui mettent à profit les données, notamment la technologie des jumeaux numériques, l'élaboration de protocoles, et des fonctionnalités d'analyse pour aider les exploitations à gagner en efficacité, en durabilité, et en rentabilité, à un coût abordable[155]. La majorité des technologies sont quant à elles conçues dans les grands groupes spécialisés dans les télécommunications, la production de denrées alimentaires et la santé[156, 157, 158].

Conditions relatives aux infrastructures

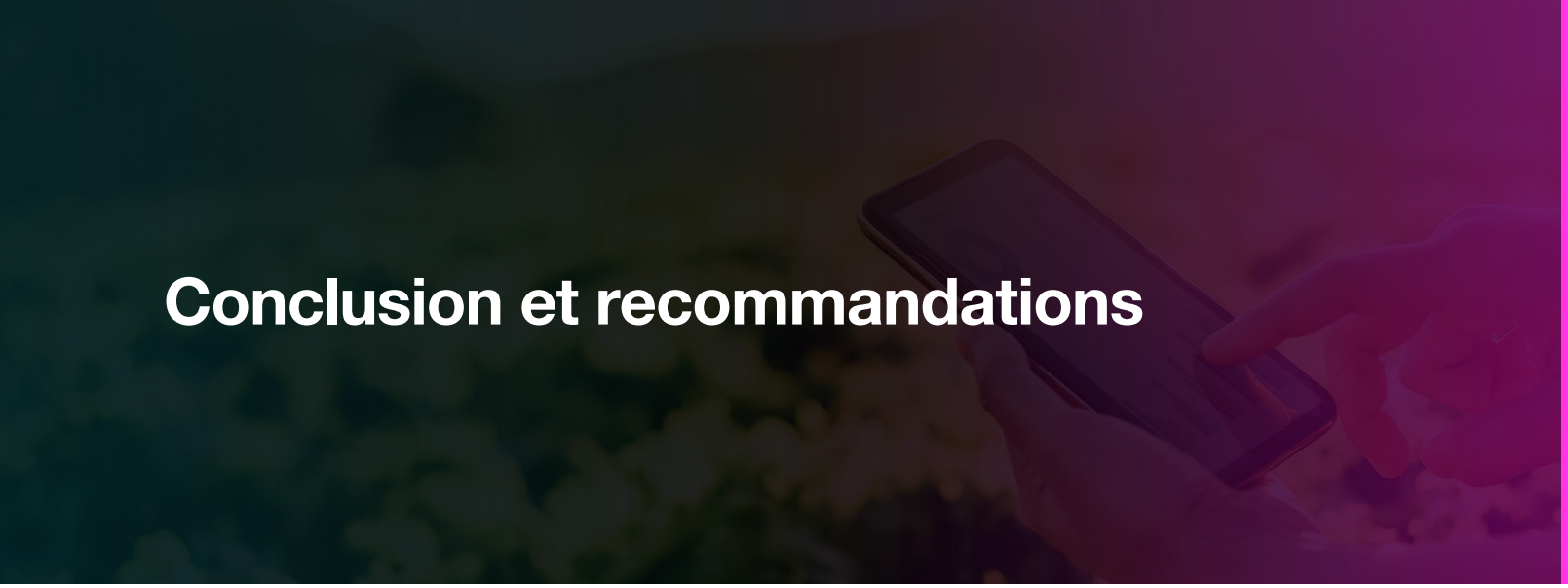
Le manque d'infrastructures, notamment de connexion à l'Internet, et l'accès restreint aux solutions de formation professionnelle plus souples et aux marchés en général, tiennent à l'écart de la révolution numérique agricole bon nombre d'entreprises agricoles et agroalimentaires dirigées par des exploitants âgés, de communautés rurales et de peuples autochtones[159, 160]. Dans les zones rurales du Canada, qui accueillent environ 72,2 p. 100 des producteurs d'oléagineux et de céréales, et environ 93,6 p. 100 des élevages de vaches laitières[161], l'accès à la technologie pâtit de l'instabilité des services à haut débit et de l'accès à Internet. Sur le plan numérique, ce manque chronique d'infrastructures ralentit considérablement l'adoption des nouvelles technologies numériques[162]. Pour pouvoir s'approprier les technologies agricoles produisant de grandes quantités de données, les exploitations doivent pouvoir compter sur un accès à l'Internet haut débit et une qualité de connexion à faible latence[163]. Mis en place par le gouvernement du Canada en 2020, le Fonds pour la large bande universelle, dont le budget initial (1,8 milliard de dollars) a été relevé à 3,2 milliards de dollars, vise à raccorder 98 p. 100 des résidentes et des résidents du Canada à un réseau Internet câblé haut-débit d'ici 2026 et à couvrir l'ensemble de la population à l'horizon 2030[164]. Néanmoins, des agricultrices et agriculteurs résidant à seulement 20 minutes des grandes métropoles, y compris dans des provinces à forte densité de population comme l'Ontario, déclarent rencontrer d'importants problèmes de connectivité et de fiabilité qui entravent le fonctionnement des systèmes utilisés dans le cadre des activités agricoles[165]. En 2021, seulement 59,5 p. 100 des ménages ruraux et 42,9 p. 100 des ménages des Premières Nations disposaient d'un accès à l'Internet à haut débit[166], et ce taux chute encore chez les agricultrices et agriculteurs, dont 90 p. 100 habitent dans des zones rurales mal desservies[167]. Pour que les peuples autochtones, les groupes méritant l'équité, les PME agricoles et agroalimentaires puissent recourir aux innovations technologiques, il est nécessaire de réaliser des investissements soutenus dans les services d'accès à Internet et aux réseaux à haut débit.

L'innovation technologique est au cœur de la stratégie adoptée dans le cadre du Canadian Agricultural Innovation System (système canadien d'innovation agricole), qui met l'accent sur la création d'inventions « depuis les laboratoires jusqu'aux marchés » [traduction libre][168] Cependant, dans le secteur financier et celui des technologies de l'information, les innovations ciblent de manière disproportionnée les grandes exploitations[169, 170, 171], ce qui crée un manque à gagner en matière de rentabilité et de durabilité pour les petites exploitations[172, 173]. Lorsque les exploitants présentent des niveaux d'instruction et de savoir-faire plus élevés dans le domaine numérique, le sentiment de complexité diminue, et les besoins en matière de formation avancée ne sont plus aussi élevés; dans la situation inverse, de faibles niveaux de connaissances représentent un frein important à l'adoption[174]. Les personnes susceptibles d'adopter les innovations préféreront les mettre à l'essai, en les déployant à petite échelle dans un premier temps avant de s'engager vers un déploiement complet, ce

qui contribue à réduire le risque perçu[175]. Par ailleurs, l'appui de la communauté, des réseaux de pairs et des conseillers de confiance (détaillants en produits agricoles, agents de vulgarisation, fournisseurs) ainsi que les agronomes[176] joue un rôle important, puisque les entreprises agricoles et agroalimentaires se fient souvent aux solutions qui ont été éprouvées localement avant d'emboîter le pas aux « meilleures pratiques » du secteur[177].

Conditions relatives aux politiques

Des réformes politiques sont nécessaires pour accroître l'adoption des technologies au sein des PME et des entreprises agricoles et agroalimentaires détenues par des personnes issues de la diversité. Les entraves au commerce entre les provinces constituent à cet égard l'un des obstacles à l'accès aux marchés pour les acteurs de grandes filières agricoles comme la production de bétail et la transformation[178]. À l'inverse, grâce à la modification des structures d'imposition des activités, à l'instar de celle entreprise en Ontario[179], les entreprises agricoles peuvent développer leurs activités en proposant des services à valeur ajoutée et en diversifiant leur savoir-faire et leur offre, en investissant des créneaux tels que la transformation des denrées, l'agrotourisme, et les processus secondaires tels que l'embouteillage ou le conditionnement[180]. À mesure que la technologie élargit les débouchés des entreprises agricoles et agroalimentaires sur les marchés mondiaux, l'appui aux nouvelles technologies pourrait contrebalancer le fardeau disproportionné découlant des tensions géopolitiques et commerciales. Les conflits géopolitiques internationaux, notamment l'invasion de l'Ukraine par la Russie, ont entraîné une hausse des dépenses liées à la fertilisation, à l'irrigation et aux aliments pour animaux, qui sont des composantes essentielles de la production primaire. De même, l'imposition de droits de douane restreint les débouchés commerciaux des exportations canadiennes vers les États-Unis et la Chine, grands consommateurs de produits agroalimentaires, de produits de la mer, de produits de base et de produits à base de viande[181, 182, 183]. Des améliorations réglementaires complémentaires s'imposent également vis-à-vis de l'agriculture en environnement contrôlé : il convient de réévaluer le bien-fondé de l'interdiction qui frappe les produits antiparasitaires[184], puisque les cultures en environnement contrôlé sont, elles aussi, vulnérables à la prolifération des maladies et des organismes nuisibles[185]. Plus largement, la montée en puissance de l'adoption technologique requiert une série de mesures politiques : remédier aux disparités et chevauchements dans le droit entre les provinces; définir de nouvelles normes de santé et de sécurité pour encadrer les technologies au fil de leur développement; et porter attention aux politiques susceptibles d'être discriminatoires à l'égard des peuples autochtones et des groupes méritant l'équité, et ainsi de limiter leur participation au secteur et la valeur commerciale de leurs activités.



Conclusion et recommandations

Conclusion

Notre analyse montre que le secteur agricole canadien est en proie à des difficultés diverses. L'adoption des technologies à l'échelle du secteur agricole et agroalimentaire – de la production à la vente, en passant par la transformation – pourrait accroître la compétitivité des produits agricoles canadiens sur les marchés d'exportation, tout en soutenant les communautés locales et l'autosuffisance de la production. Parallèlement, la mobilisation de profils spécialisés et qualifiés permettrait de satisfaire les besoins urgents en main-d'œuvre qui découlent des modifications apportées aux politiques fédérales relatives à la main-d'œuvre étrangère temporaire (évaluée à 24 000 personnes environ) et d'assurer la relève des exploitantes et exploitants canadiens, dont près de 40 p. 100 devraient prendre leur retraite d'ici 2033[186].

L'adoption des technologies dans le secteur agricole et agroalimentaire, notamment au sein des PME détenues par des personnes issues de la diversité, résulte de la conjugaison de divers facteurs sociaux, environnementaux et économiques. Notre étude montre que les plateformes technologiques sont conçues en priorité non pas pour les PME du secteur, mais davantage pour servir les intérêts des grands spécialistes des produits de base et de l'élevage, et des grands fabricants de denrées alimentaires et de boissons. Pensées spécifiquement pour ces structures, les technologies s'accompagnent souvent de coûts d'investissement et de maintenance élevés (pour les machines agricoles, les logiciels, les capteurs et dispositifs de gestion des données) qui sont un facteur de dissuasion potentiel pour les PME et les entreprises agroalimentaires détenues par des personnes issues de la diversité. Les disparités en matière de maîtrise des données et de connaissances techniques peuvent accentuer la fracture numérique entre les petites structures agricoles et les plus grandes. En effet, certains exploitants de PME peinent à comprendre le fonctionnement des technologies, ou à en mesurer les avantages, tandis que les grandes sociétés, dotées de savoir-faire diversifiés et spécialisés, peuvent apprécier rapidement les avantages au regard des coûts. Il est donc nécessaire d'étoffer l'offre de technologies agricoles destinées aux PME et aux entreprises détenues par des personnes issues de la diversité. Plus généralement, lorsque les compétences techniques sont valorisées et que les stéréotypes sont déconstruits, les petits innovateurs du secteur de l'agriculture de pointe voient se présenter à eux des créneaux qu'ils peuvent exploiter pour développer des outils adaptés à des entreprises de toutes tailles.

Recommandations

Pour renforcer la participation dans le secteur agricole et agroalimentaire dans un contexte de transition technologique, plusieurs interventions sont nécessaires. La section ci-après revient sur les recommandations antérieures formulées par le Conference Board du Canada pour assurer la réussite de la transition au sein des exploitations agricoles et d'élevage traditionnelles[187]. Les recommandations que nous formulons visent à accentuer l'adoption de la technologie dans l'ensemble de la chaîne agricole et agroalimentaire, au-delà des exploitations de plein champ, une attention particulière étant accordée aux obstacles à l'adoption que rencontrent les peuples autochtones et les groupes méritant l'équité.

Accès aux ressources financières

L'accès aux ressources financières demeure le facteur principal qui influe sur l'adoption des technologies par les entreprises agricoles et agroalimentaires. L'intégration systématique de l'agriculture dans les enveloppes de financement de base octroyées par le gouvernement fédéral et un financement actif en faveur de l'innovation sont nécessaires si l'on souhaite faire de ce secteur une priorité. Allocations ciblées, investissements axés sur les infrastructures, ajustements politiques : toutes ces mesures sont nécessaires pour que le rôle joué par l'agriculture dans la croissance économique du pays, la sécurité alimentaire et le développement rural soit pris en compte. En l'absence de financement spécifique à l'appui du renforcement des compétences technologiques ou de l'acquisition et de la maintenance du matériel d'exploitation (comme les tracteurs, les capteurs et les dispositifs de gestion des données), les exploitations agricoles adoptent une posture purement réactive, là où leurs concurrentes étrangères améliorent leur compétitivité sur les marchés en adoptant d'emblée les technologies numériques. Les dispositifs de financement doivent aider les PME et les entreprises détenues par des personnes issues de la diversité à compenser le coût du capital et doivent englober un volet visant spécialement à financer les initiatives de développement ciblées, qui permettront aux divers groupes méritant l'équité de bénéficier d'une formation professionnelle. Souvent, les personnes immigrées disposant de qualifications avancées en agriculture, notamment des titulaires de doctorats, se retrouvent fâcheusement en situation de sous-emploi – certaines se retrouvant à occuper un emploi de chauffeur de taxi à Toronto – en raison, notamment, du coût prohibitif des terres agricoles[188]. Les peuples autochtones ne sont, eux aussi, pas toujours en mesure d'accéder aux capitaux : la Loi sur les Indiens impose des restrictions qui limitent encore l'activité au sein des réserves, en particulier l'article 89 qui, parce qu'il proscrit le nantissement des terres, empêche leur utilisation à titre de garantie pour financer l'acquisition de technologies innovantes, et l'article 87, qui vient rendre plus complexe la structuration des entreprises installées dans les réserves[189]. Des mécanismes de financement additionnels souples et visant des groupes précis sont nécessaires pour améliorer l'accès aux capitaux et, par conséquent, favoriser la participation au secteur.

Déconstruire les idées reçues à l'égard du secteur

Les stéréotypes culturels, sectoriels et sexistes demeurent profondément ancrés dans l'industrie agricole et agroalimentaire, perpétuant l'idée selon laquelle le travail agricole serait peu lucratif, plutôt que l'image d'un secteur hautement rémunérateur et technique, offrant de vastes perspectives d'emploi. Lorsque la main-d'œuvre étrangère temporaire n'est mobilisée que pour remplir des fonctions peu qualifiées[190], le Canada se prive du potentiel d'innovation dont pourraient faire preuve les immigrés qualifiés désireux de faire carrière dans l'agriculture[191, 192]. Conséquence : le secteur pâtit d'un taux élevé de transition et de renouvellement des effectifs, qui entraîne des pénuries de main-d'œuvre et restreint, par ricochet, la croissance économique des agroentreprises. Le maintien dans l'emploi des immigrés travaillant dans l'agriculture primaire et dans les industries agroalimentaires est étroitement corrélé au niveau de compétence : plus les talents sont qualifiés, plus ils sont susceptibles de rester dans le secteur à long terme[193]. À mesure que la technologie viendra reconfigurer les carrières dans le secteur agricole et agroalimentaire, il sera nécessaire de promouvoir les diverses perspectives offertes dans ce domaine, et les compétences techniques qui s'y rapportent.

De manière générale, les personnes qui travaillent au Canada ne connaissent pas tous les débouchés offerts par le secteur agricole et agroalimentaire. Les effectifs, qui doivent savoir lire et interpréter les données, ne sont pas nécessairement ceux issus du monde agricole, mais plutôt des personnes qui ont un intérêt ou un savoir-faire en ce qui concerne la gestion d'activités techniquement complexes[194]. Les compétences spécialisées en agronomie et en technologie sont en parallèle nécessaires pour favoriser le développement d'innovation dans les biotechnologies, notamment les compétences et connaissances avancées en pédologie, en agronomie, en phytotechnie, en sciences biomédicales, en fabrication et en conduite des machines et des technologies, en développement de logiciels et en analytique[195, 196]. Il est nécessaire de continuer de promouvoir, auprès des travailleuses et des travailleurs, tout l'intérêt que représentent l'agriculture et la production alimentaire, ainsi que les diverses perspectives de carrières offertes par ces filières, en mettant en avant le savoir-faire relatif aux technologies, aux données, à l'intelligence artificielle et à la gestion qu'elles mobilisent.

Il est par ailleurs nécessaire de contribuer sans cesse à déconstruire les stéréotypes sexistes assignant le « jardinage » aux femmes et « l'agriculture » aux hommes, de manière à soutenir l'élan imprimé par les femmes en agriculture qui s'engagent en faveur de l'innovation et de la durabilité[197, 198, 199], qui sont à l'avant-garde des technologies dans les domaines de l'agriculture urbaine et verticale et de l'agrotourisme[200, 201], et dont les réseaux de soutien dans le secteur agroalimentaire, plus denses et plus solides que ceux des hommes, favorisent la transition à l'échelle du secteur sans que des groupes sociaux, économiques ou culturels en particulier soient abusivement favorisés en matière d'avancement professionnel[202, 203, 204]. Pour que cette démarche porte ses fruits, il est nécessaire de mettre en lumière le rôle moteur que jouent les professionnels de l'agriculture et de l'agroalimentaire issus de la diversité dans la lutte contre l'insécurité alimentaire dans le monde, le renforcement de l'autosuffisance des communautés, la promotion de la durabilité environnementale et la gestion des ressources, afin d'attirer des talents nouveaux et plus jeunes.

Des formations axées sur l'agriculture moderne

La formation professionnelle est indispensable pour que les PME ainsi que les exploitations et les effectifs issus de la diversité adoptent en plus grand nombre les technologies et préservent leur compétitivité sur les marchés. Pour permettre au public de mieux connaître les carrières du secteur et d'acquérir les compétences recherchées, l'offre de formation doit être continuellement ajustée à ses évolutions. S'il existe bel et bien des programmes de certification professionnelle au sein des universités et des collèges[205, 206, 207], il convient néanmoins de diversifier les services d'enseignement et de formation professionnelle au moyen de microcertifications, de certifications professionnelles, et de l'apprentissage intégré au travail au sein des entreprises agricoles et agroalimentaires pour répondre aux impératifs d'apprentissage des petites entreprises et de celles détenues par des personnes issues de la diversité[208, 209]. Les programmes de formation doivent tenir compte des fonctions transversales et multiples qu'assument les exploitants et les effectifs des PME et des entreprises détenues par des personnes issues de la diversité, en les mettant en regard des capacités des grands établissements agricoles et agroalimentaires en matière de spécialisation et d'acquisition de connaissances verticales. La collaboration entre les institutions agricoles et agroalimentaires et les établissements d'enseignement contribuera à promouvoir l'apprentissage intégré au travail et à aligner continuellement les initiatives de formation sur les besoins du secteur.

Mesures de soutien globales

Des mesures d'appui doivent être mises en place en complément des initiatives de formation et d'enseignement pour rehausser le niveau d'adoption des technologies dans le secteur agricole et agroalimentaire au sein de ces groupes. L'élargissement de l'accès à Internet et d'autres infrastructures technologiques, l'octroi d'aides financières visant à permettre aux acteurs de participer aux programmes de formation, et la mise en place de parcours d'apprentissage plus souples apportent des éléments de solution à la sous-représentation et à la sous-rémunération disproportionnées des femmes, des personnes racisées, des personnes présentant un handicap et des peuples autochtones possédant un diplôme dans les domaines agricole et agroalimentaire[210]. Plusieurs mesures de soutien global ont donné des résultats probants, en l'occurrence, la mise en place de modalités d'apprentissage plus flexibles ou hybrides, l'exonération des frais, les programmes d'enseignements adaptés aux contextes culturels, des services de santé mentale, des services de garde d'enfants et d'aide aux familles, des dispositifs qui ont permis de mieux aider les peuples autochtones et les groupes méritant l'équité à participer aux initiatives de perfectionnement des compétences visant le secteur agricole et agroalimentaire[211]. Enfin, des orientations complémentaires à l'intention des PME sont nécessaires pour favoriser l'adoption des technologies; en effet, ces entreprises ne disposent souvent pas de l'expertise interne requise pour déployer les nouvelles technologies, et cela même lorsque leur personnel possède déjà ou a acquis des compétences numériques et techniques par l'intermédiaire de programmes d'enseignement ou d'initiatives de perfectionnement.

Références

1 Chambre de commerce du Canada (13 févr. 2024). *Enjeux politiques : Renforcer le secteur canadien de l'agriculture et de l'agroalimentaire.* https://chamber.ca/fr/enjeux-politiques-renforcer-le-secteur-canadien-de-lagriculture-et-de-lagroalimentaire/

2 Agriculture et Agroalimentaire Canada (3 juill. 2025). *Aperçu du secteur agricole et agroalimentaire canadien.* Gouvernement du Canada. https://agriculture.canada.ca/fr/secteur/apercu

3 Agriculture et Agroalimentaire Canada (3 juill. 2025). *Aperçu du secteur agricole et agroalimentaire canadien.* Gouvernement du Canada. https://agriculture.canada.ca/fr/secteur/apercu

4 Fiocco, D., Ganesan, V., Garcia de la Serrana Lozano, M. et Sharifi, H. (7 févr. 2023). Agtech: Breaking down the farmer adoption dilemma. https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agtech-breaking-down-the-farmer-adoption-dilemma

5 Nettle, R., Ayre, M., Reichelt, N., Santhanam-Martin, M., & Vikas, A. (mai 2025). Farm transformation in the context of climate change: Beyond the incremental-transformational divide. *Journal of Rural Studies, 116*, Article 103628. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2025.103628

6 Union nationale des fermiers (s. d.). *Propriété et consolidation des terres agricoles*. https://www.nfu.ca/fr/apprendre/terres-agricoles/propriete-et-consolidation-des-terres-agricoles/

7 Phillips, P. W. B. (2023). *Can Canada help feed the world while reducing emissions? Assessing challenges and barriers to digital opportunities in agriculture*. IRPP. https://irpp.org/wp-content/uploads/2023/11/Can-Canada-Help-Feed-the-World-While-Reducing-Emissions.pdf

8 Nestle Professional (2025). 2025 *FoodService trends: The latest food, beverage, and dessert trends in Canada*. https://assets.turtl.co/pdfs/tenant=nestleprofessional/2025-foodservice-trends.pdf

9 Réseau canadien d'innovation en alimentation (mai 2024). *Trouver des solutions pour contrer l'inflation alimentaire : comment l'adoption d'innovations par le secteur canadien de la transformation des aliments aplanira la courbe*. https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/CFIN/6668c204-cc27-460e-a14a-1952a7f4c558/UploadedImages/Unpuzzling-Food-Inflation-2024-FR.pdf

10 Réseau canadien d'innovation en alimentation (mai 2024). *Trouver des solutions pour contrer l'inflation alimentaire : comment l'adoption d'innovations par le secteur canadien de la transformation des aliments aplanira la courbe*. https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/CFIN/6668c204-cc27-460e-a14a-1952a7f4c558/UploadedImages/Unpuzzling-Food-Inflation-2024-FR.pdf

11 Agriculture et Agroalimentaire Canada (18 juill. 2025). *Aperçu de l'industrie de la transformation des aliments et des boissons*. https://agriculture.canada.ca/fr/secteur/industrie-transformation-aliments/apercu-aliments-boissons

12 Huneke, M., Vinodrai, T., Hall, H. M (août 2024). *Crunching the numbers: A snapshot of Canada's agricultural technology landscape*. https://uwaterloo.ca/disruptive-technologies-economic-development/sites/default/files/uploads/documents/ag-crunchbase-report-august-2024-final.pdf

13 Hiebert, K., Lussier, D., Lika, E. et McCann, T. (mai 2025). *L'avenir est numérique : l'agriculture numérique et la politique agricole canadienne.* Institut canadien des politiques agroalimentaires. https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2025/05/2025-04-20-Digital-Agriculture-FR-CAPI.pdf

14 Ontario Genomics. (mars 2025). *Food innovation in Canada report: An $18.8 billion opportunity in precision fermentation and cultivated foods*. https://www.ontariogenomics.ca/wp-content/uploads/2025/03/2025-FoodInnovationInCanadaReport_PDF.pdf

15 Conseil canadien pour les ressources humaines en agriculture (s. d.). *Occasions d'apprentissage intégré au travail et d'apprentissage par l'expérience*. https://cahrc-ccrha.ca/sites/default/files/2024-06/CAHRC_Work_Integrated_Learning_APR_2024_FR_%20%281%29.pdf

16 Kyria. (8 mars 2023). *Agricultural technology at a glance*. NorthBridge Consultants. https://northbridgeconsultants.com/2023/03/08/agricultural-technology-at-a-glance/

17 Hiebert, K., Lussier, D., Lika, E. et McCann, T. (mai 2025). *L'avenir est numérique : l'agriculture numérique et la politique agricole canadienne.* Institut canadien des politiques agroalimentaires. https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2025/05/2025-04-20-Digital-Agriculture-FR-CAPI.pdf

18 Lassoued, R., Phillips, P. W. B., & Smyth, S. J. (2023). Exploratory analysis on drivers and barriers to Canadian prairie agricultural technology innovation and adoption. *Smart Agricultural Technology, 5*, Article 100257. https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100257

19 Giua, C., Materia, V. C., & Camanzi, L. (2022). Smart farming technologies adoption: Which factors play a role in the digital transition? *Technology in Society, 68*, Article 101869. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101869

20 Agriculture et Agroalimentaire Canada (s. d.). *Mesures de soutien pour les industries touchées par les perturbations commerciales*. https://agriculture.canada.ca/fr/commerce-international/services-aux-exportateurs-agroalimentaires/mesures-soutien-industries-touchees-perturbations-commerciales

21 Ebrahimi, H. P., Schillo, R. S., & Bronson, K. (2021). Systematic stakeholder inclusion in digital agriculture: A framework and application to Canada. *Sustainability, 13*(12), 6879. https://doi.org/10.3390/su13126879

22 van der Veen, M. (2010). Agricultural innovation: invention and adoption or change and adaptation? *World Archaeology, 42*(1), 1–12. https://doi.org/10.1080/00438240903429649

23 Bollman, R. D. et Alasia, A. (27 nov. 2015). *Profil des travailleurs autonomes dans les régions rurales et les petites villes du Canada : un départ à la retraite important des travailleurs autonomes est-il imminent?* Statistique Canada. https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/21-006-x/21-006-x2012001-fra.htm

24 Cukier, W., MCcallum, K. E., Egbunonu, P. et Bates, K. (juin 2021). *De la nécessité naît l'invention : compétences pour l'innovation dans un monde postpandémique*. Forum des politiques publiques. https://ppforum.ca/wp-content/uploads/2021/06/De-la-n%C3%A9cessit%C3%A9-na%C3%AEt-l%E2%80%99invention-PPF-Juin2021-FR-1.pdf

25 Cukier, W., MCcallum, K. E., Egbunonu, P. et Bates, K. (juin 2021). *De la nécessité naît l'invention : compétences pour l'innovation dans un monde postpandémique*. Forum des politiques publiques. https://ppforum.ca/wp-content/uploads/2021/06/De-la-n%C3%A9cessit%C3%A9-na%C3%AEt-l%E2%80%99invention-PPF-Juin2021-FR-1.pdf

26 Agriculture et Agroalimentaire Canada (17 déc. 2024). *Rapport sur les résultats ministériels 2023-2024. Gouvernement du Canada*. https://agriculture.canada.ca/fr/ministere/transparence/rapport-resultats-ministeriels/rapport-resultats-ministeriels-2023-24

27 Fédération de l'agriculture de l'Ontario (s. d.). *Value-added agriculture*. https://ofa.on.ca/ressources/agriculture-a-valeur-ajoutee/#:~:text=La%20FAO%20appuie%20sans%20r%C3%A9serve%20la%20recommandation,La%20FAO%20croit

28 Sénat du Canada (juillet 2019). *Fabriqué au Canada : Faire croître le secteur alimentaire à valeur ajoutée au Canada*. https://sencanada.ca/fr/info-page/parl-42-1/agfo-fabrique-au-canada/

29 Innovation, Sciences et Développement économique Canada (2019). *Bâtir une société innovante*. https://ised-isde.canada.ca/site/innovation-better-canada/sites/default/files/attachments/New_ISEDC_19-044_INNOVATION-SKILLS_F_web.pdf

30 Programme des Nations Unies pour le développement (1er mai 2025). *Novel agrifood technologies and sustainable development series: Controlled environment agriculture for sustainable development*. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2025-01/controlled_environment_agriculture_for_sustainable_development.pdf

31 Institut canadien des politiques agroalimentaires (ICPA) (1er mai 2025). *L'avenir est numérique : L'agriculture numérique et la politique agricole canadienne*. https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2025/05/2025-04-20-Digital-Agriculture-FR-CAPI.pdf

32 Ashton, L. (12 juin 2024). *Le boom des serres : comment l'agriculture intérieure peut transformer la production et les exportations alimentaires*. https://www.rbc.com/fr/leadership-avise/institut-action-climatique/agriculteurs-rapports/le-boom-des-serres-comment-lagriculture-interieure-peut-transformer-la-production-et-les-exportations-alimentaires/

33 Ashton, L. (12 juin 2024). *Le boom des serres : comment l'agriculture intérieure peut transformer la production et les exportations alimentaires*. https://www.rbc.com/fr/leadership-avise/institut-action-climatique/agriculteurs-rapports/le-boom-des-serres-comment-lagriculture-interieure-peut-transformer-la-production-et-les-exportations-alimentaires/

34 Ashton, L. (12 juin 2024). *Le boom des serres : comment l'agriculture intérieure peut transformer la production et les exportations alimentaires*. https://www.rbc.com/fr/leadership-avise/institut-action-climatique/agriculteurs-rapports/le-boom-des-serres-comment-lagriculture-interieure-peut-transformer-la-production-et-les-exportations-alimentaires/

35 Duan, A. (2023). Growing more with less: The sustainable benefits of soilless farming. *International Scholars. Journals, 11*(3). https://www.internationalscholarsjournals.com/articles/growing-more-with-less-thesustainable-Benefits-of-soilless-farming-103514.html

36 Eden Green Technology. (s. d.). *What is vertical farming? Everything you should know about this innovation*. https://www.edengreen.com/blog-collection/what-is-vertical-farming

37 Financement agricole Canada (FAC) (23 avr. 2018). *Rapport Valeur des terres agricoles de FAC*. https://assets.ctfassets.net/mmptj4yas0t3/6oDc2NYcykgtSUYa3Dhlh3/ec35b31b69bf537ccc7a3fb01dd429c7/2017-farmland-values-report-f.pdf

38 Cukier, W. et Zemla, A. (juin 2025). *La durabilité alimentaire dans le Nord : défis et possibilités liés aux compétences dans le cadre des projets de serre communautaire*. Diversity Institute, Centre des Compétences futures et Green Iglu. https://www.torontomu.ca/content/dam/diversity/reports/food-sustainability-in-the-north/Food%20Sustainability%20in%20the%20North%20(2).pdf

39 Conference Board du Canada et Centre des Compétences futures (2024).La nouvelle frontière du secteur agroalimentaire canadien. https://fsc-ccf.ca/wp-content/uploads/2024/07/la-nouvelle-frontiere_2024.pdf

40 Szleter, P., (8 févr. 2024). *From soil to satellite: Five ways IoT will impact modern agriculture*. https://www.forbes.com/councils/forbestechcouncil/2024/02/08/from-soil-to-satellite-five-ways-iot-will-impact-modern-agriculture/

41 GeoPard Agriculture. (s. d.). *Applications of machine learning for precision agriculture*. https://geopard.tech/blog/applications-of-machine-learning-for-precision-agriculture/

42 McCaig, M., Rezania, D., & Dara, R. (2022). Is the Internet of Things a helpful employee? An exploratory study of discourses of Canadian farmers. *Internet of Things, 17*. https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100466

43 McCaig, M., Rezania, D., & Dara, R. (2023). Framing the response to IoT in agriculture: A discourse analysis. *Agricultural Systems, 204*, https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103557

44 Keswani, B.; Mohapatra, A.G.; Keswani, P.; Khanna, A.; Gupta, D.; Rodrigues, J. (2020). *Improving weather dependent zone specific irrigation control scheme in IoT and big data enabled self driven precision agriculture mechanism*. https://www.researchgate.net/publication/338781920_Improving_weather_dependent_zone_specific_irrigation_control_scheme_in_IoT_and_big_data_enabled_self_driven_precision_agriculture_mechanism

45 ONU-Eau (2022). *Eaux souterraines : Rendre visible l'invisible. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2022*. UNESCO Publishing. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380755_fre?posInSet=14&queryId=be1b806f-b617-4224-828f-e32cba77057b

46 Yu, L., Gao, W., Shamshiri, R. R., Tao, S., Ren, Y., Zhang, Y., & Su, G. (2021). Review of research progress on soil moisture sensor technology. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 14*(4), 32-42. https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/6404/0

47 Haddon, A., Kechichian, L., Harmand, J., Dejean, C., & Ait-Mouheb, N. (2023). Linking soil moisture sensors and crop models for irrigation management. *Ecological Modelling, 484*, 110470. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4341430

48 Perone, C., Orsino, M., La Fianza, G., Giametta, F., & Catalano, P. (2021). Study of a mechanical ventilation system with heat recovery to control temperature in a monitored agricultural environment under summer conditions. *Journal of Building Engineering, 43*, 102745. https://www.researchgate.net/publication/351794588_Study_of_a_mechanical_ventilation_system_with_heat_recovery_to_control_temperature_in_a_monitored_agricultural_environment_under_Summer_conditions

49 Ge, J., Zhao, L., Gong, X., Lai, Z., Traore, S., Li, Y., ... & Zhang, L. (2021). Combined effects of ventilation and irrigation on temperature, humidity, tomato yield, and quality in the greenhouse. *HortScience, 56*(9), 1080-1088. https://www.researchgate.net/publication/353783836_Combined_Effects_of_Ventilation_and_Irrigation_on_Temperature_Humidity_Tomato_Yield_and_Quality_in_the_Greenhouse

50 Traversari, S., Cacini, S., Galieni, A., Nesi, B., Nicastro, N., & Pane, C. (2021). Precision agriculture digital technologies for sustainable fungal disease management of ornamental plants. *Sustainability, 13*(7), 3707. https://www.mdpi.com/2071-1050/13/7/3707

51 Mahlein, A. K., Heim, R. H. J., Brugger, A., Gold, K., Li, Y., Bashir, A. K., ... & Kuska, M. T. (2022). Digital plant pathology for precision agriculture. *Journal of Plant Diseases and Protection, 129*(3), 455-456. https://doi.org/10.1007/s41348-022-00620-9

52 Arad, B., Balendonck, J., Barth, R., Ben-Shahar, O., Edan, Y.; Hellström, T., Hemming, J., Kurtser, P., Ringdahl, O., Tielen, T & Bart, T. V. (2020). Development of a sweet pepper harvesting robot. *Journal of Field Robotics, 37*, 1027–1039. https://doi.org/10.1002/rob.21937

53 Padhiary, M., Saha, D., Raushan, K., Sethi, L.N., & Kumar, A. (2024). Enhancing precision agriculture: A comprehensive review of machine learning and AI vision applications in all-terrain vehicle for farm automation. *Smart Agricultural Technology, 8*(2024). https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100483

54 Creig, M. (10 avr. 2025). *AI and precision agriculture offer a new era for farming*. University of Calgary. https://ucalgary.ca/news/ai-and-precision-agriculture-offer-new-era-farming

55 Debnath, J., Kumar, K., & Roy, K., Choudhary, R. D., & Krishna, A. (2024). Precision agriculture: A review of AI vision and machine learning in soil, water, and conservation practice. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 12*(12XII), 2130-2141. https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.66166

56 Jiang, J., Zhang, S., Wang, B., Ding, H., & Wu, Z. (2020). Hydroprinted Liquid-Alloy-Based Morphing Electronics for Fast-Growing/Tender Plants: From Physiology Monitoring to Habit Manipulation. *Small, 16*(39), e2003833. https://doi.org/10.1002/smll.202003833

57 Tang, W., Yan, T., Wang, F., Yang, J., Wu, J., Wang, J., Yue, T., & Li, Z. (juin 2019). Rapid fabrication of wearable carbon nanotube/graphite strain sensor for real-time monitoring of plant growth. *Carbon, 147*, 295–302. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.03.002

58 Mizik, T. (2021). Climate-smart agriculture on small-scale farms: A systematic literature review. *Agronomy, 11*(6), 1096. https://www.mdpi.com/2073-4395/11/6/1096

59 Bruulsema, T. (2017). 4R Phosphorus management practices for major commodity crops of North America. International Plant Nutrition Institute,: Norcross, GA, USA, 12. https://www.potatogrower.com/uploads/7289_1.pdf

60 FAO. 2022. Nutrient Nitrogen N (Total) Agricultural Use by Country.

61 Duan, A. (2023). Growing more with less: The sustainable benefits of soilless farming. *International Scholars. Journals, 11*(3). https://www.internationalscholarsjournals.com/articles/growing-more-with-less-thesustainable-Benefits-of-soilless-farming-103514.html

62 Eden Green Technology. (s. d.). *What is vertical farming? Everything you should know about this innovation*. https://www.edengreen.com/blog-collection/what-is-vertical-farming

63 Financement agricole Canada (FAC) (23 avr. 2018). *Rapport Valeur des terres agricoles de FAC*. https://assets.ctfassets.net/mmptj4yas0t3/6oDc2NYcykgtSUYa3Dhlh3/ec35b31b69bf537ccc7a3fb01dd429c7/2017-farmland-values-report-f.pdf

64 Gaitan, N. C., Batinas, B. I., Ursu, C., & Crainiciuc, F. N. (2025). Integrating artificial intelligence into an automated irrigation system. *Sensors, 25*(4), 1199. https://doi.org/10.3390/s25041199

65 Debnath, J., Kumar, K., & Roy, K., Choudhary, R. D., & Krishna, A. (2024). Precision agriculture: A review of AI vision and machine learning in soil, water, and conservation practice. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 12*(12XII), 2130-2141. https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.66166

66 Anderson, L. (18 sept. 2024). *Une utilisation plus efficace de l'eau peut transformer l'agriculture canadienne*. Financement agricole Canada. https://www.fcc-fac.ca/fr/savoir/services-economiques/utilisation-efficace-leau-agriculture-canadienne

67 Owen, G. W., and Lopez, R. G. (2015). *Evaluating container substrates and their components*. https://www.extension.purdue.edu/extmedia/HO/HO-255-W.pdf

68 Woznicki, T., Kusnierek, K., Vandecasteele, B., & Sønsteby, A. (2024). Reuse of coir, peat, and wood fiber in strawberry production. *Frontiers in Plant Science, 14*, 1307240. https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1307240/full

69 Rajaseger, G., Chan, K. L., Yee Tan, K., Ramasamy, S., Khin, M. C., Amaladoss, A., & Kadamb Haribhai, P. (2023). Hydroponics: Current trends in sustainable crop production. *Bioinformation, 19*(9), 925–938. https://www.bioinformation.net/019/97320630019925.htm

70 Kumar, A., Mehta, A., & Kumari, K. (2024). Advanced horticultural techniques: Hydroponics, aquaponics and aeroponics for optimal crop production. *International Journal of Plant & Soil Science, 36*(8), 884-892. https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i84919

71 Ghiasi, M., Wange, Z., Mehrandezh, M., & Paranjape, R. (2025). Enhancing efficiency through integration of geothermal and photovoltaic in heating systems of a greenhouse for sustainable agriculture. *Sustainable Cities and Society, 118*. https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.106040

72 Feldman, D., Barbose, G., Margolis, R., Wiser, R., Darghouth, N., & Goodrich, A. (novembre 2012). *Photovoltaic (PV) pricing trends: Historical, recent, and near-term projections*. National Renewable Energy Laboratory & Lawrence Berkeley National Laboratory. https://docs.nrel.gov/docs/fy13osti/56776.pdf

73 Chen, Z. J. et Jewitt, A. (17 mai 2023). *Les exploitations agricoles du Canada se tournent vers la production d'énergie renouvelable et les technologies pour progresser vers un avenir agricole durable et efficace*. Statistique Canada. https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/96-325-x/2021001/article/00016-fra.htm

74 Chen, Z. J. et Jewitt, A. (17 mai 2023). *Les exploitations agricoles du Canada se tournent vers la production d'énergie renouvelable et les technologies pour progresser vers un avenir agricole durable et efficace*. Statistique Canada. https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/96-325-x/2021001/article/00016-fra.htm

75 SGS Digicomply. (19 mai 2024). *Sustainable energy production in the food industry.* https://www.digicomply.com/blog/sustainable-energy-production-in-the-food-industry-a-glimpse-into-the-future

76 Rani, P., Dubey, A., Kumar, P., Kumar, A., Goyal, M. R., Malik, J. A., & Kumari, A. (2023). Sustainable renewable energy sources for food and dairy processing. In *Food Process Engineering and Technology* (pp. 65–95). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6831-2_4

77 Ghiasi, M., Wang, Z., Mehrandezh, M., & Paranjape, R. (2025). Enhancing efficiency through integration of geothermal and photovoltaic in heating systems of a greenhouse for sustainable agriculture. *Sustainable Cities and Society, 118*. https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.106040

78 Revues de l'OCDE sur l'alimentation et l'agriculture (2015). *Revues de l'OCDE sur l'alimentation et l'agriculture Innovation, productivité et durabilité de l'agriculture au Canada*. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/fr/publications/reports/2015/08/innovation-agricultural-productivity-and-sustainability-in-canada_g1g57924/9789264238633-fr.pdf

79 Producteurs de fruits et légumes du Canada (1er juin 2020). *The Canadian greenhouse vegetable sector*. https://fvgc.ca/wp-content/uploads/2023/07/2020-Annual-Report-CHC-ENG-thumbnail.png

80 Gouvernement du Canada (2018). *Industries des cultures de serre, des gazonnières et des pépinières*. https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/190424/dq190424e-fra.htm

81 Harrison, D. (19 nov. 2020). *Labour supply and rising costs continuing challenges for growers*. https://www.greenhousecanada.com/labour-supply-and-rising-costs-continuing-challenges-for-growers-32271/

82 BDC (19 févr. 2024). *Robotique et automatisation pour le secteur des aliments et des boissons : par où commencer*. https://www.bdc.ca/fr/articles-outils/operations/automatisation-robotique/robotique-et-automatisation-pour-secteur-aliments-et-boissons-par-ou-commencer

83 Compétences Transformation Alimentaire Canada (s. d.). *Informations sur les établissements*. https://lmi.fpsc-ctac.com/#/establishment-data

84 BDC (mai 2024). Le casse-tête de la productivité au Canada : Des solutions pour les propriétaires d'entreprises. https://www.bdc.ca/fr/a-propos/analyses-recherche/productivite

85 Campbell, L. G. et Bougherara, H. (s. d.). *Il est temps de réimaginer la voie de l'agriculture*. Défi Cultiver l'innovation d'ici. https://deficultiverlinnovation.ca/grantees/cultiver-pour-lavenir-une-approche-qui-favorise-la-production-continue-de-baies-au-canada-et-au-dela/

86 GeoPard Agriculture. (s. d.). *Applications of machine learning for precision agriculture*. https://geopard.tech/blog/applications-of-machine-learning-for-precision-agriculture/

87 Santé Canada (1er mai 2024). *Note d'information : Agriculture verticale et produits antiparasitaires*. Gouvernement du Canada. https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/rapports-publications/pesticides-lutte-antiparasitaire/fiches-renseignements-autres-ressources/agriculture-verticale-produits-antiparasitaires.html

88 Larsen, R. J., Beres, B. L., Blackshaw, R. E., & Graf, R. J. (20 janv. 2018). Extending the growing season: winter cereals in western Canada. *Canadian Journal of Plant Science, 98*(2), 267-277. https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0278

89 Le Conference Board du Canada (31 juill. 2024). *La nouvelle frontière du secteur agroalimentaire canadien : Transitions de la main-d'œuvre et des compétences axées sur la technologie.* https://www.conferenceboard.ca/product/la-nouvelle-frontiere_2024/

90 Bhattarai, K., Ogden, A. B., Pandey, S., Sandoya, G. V., Shi, A., Nankar, A. N., ..& Dardick, C. (2025). Improvement of crop production in controlled environment agriculture through breeding. *Frontiers in Plant Science, 15*, 1524601. https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1524601/full

91 Grodan (2025). *Prospective alimentaire : un avenir prometteur pour la culture des fraises*. https://www.grodan.com/syssiteassets/downloads/downloads-fr/whitepapers-fr/m-20211493-grodan-whitepaper-aardbei---fra_v1.pdf?f=20211208130836&_gl=1*4qv5vi*_gcl_au*MjA1ODI2MTY1NC4xNzU1NjgzODYw

92 Armstrong, T. R., Fisk, J., Hand, K., & Khanna, S. (sept. 2023). *La résilience du secteur agroalimentaire canadien : une boîte à outils pour gérer les crises (en anglais)*. Institut canadien des politiques agroalimentaires. https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2023/09/2023-09-13-Canadian-Agri-Food-Resilience-CAPI-EN.pdf

93 Gouvernement du Canada (25 sept. 2024). *Génomique pour l'adaptation et la résilience au changement climatique (GenARCC)*. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/adapter/genomique-adaptation-resilience-changement-climatique.html

94 Beckie, H. J., Harker, K. N., Hall, L. M., Warwick, S. I., Légère, A., Sikkema, P. H., Clayton, G. W., Thomas, A. G., Leeson, J. Y., & Séguin-Swartz, G. .... & Simard, M. J. (2006). A decade of herbicide-resistant crops in Canada. *Canadian Journal of Plant Science, 86*(4), 1243-1264. https://www.researchgate.net/publication/228630208_A_decade_of_herbicide-resistant_crops_in_Canada

95 Demeke, T., Perry, D. J., & Scowcroft, W. R. (2006). Adventitious presence of GMOs: scientific overview for Canadian grains. *Canadian Journal of Plant Science, 86*(1), 1-23. https://cdnsciencepub.com/doi/pdf/10.4141/P05-114

96 Tourangeau, W. (2017). *Unearthing the power in GMO discourse: An analysis of Canadian agriculture and agrifood debates*. University of Waterloo. https://dspacemainprd01.lib.uwaterloo.ca/server/api/core/bitstreams/38342005-cc60-4df6-b101-e0405258b345/content

97 De Pascale, S., Rouphael, Y., & Colla, G. (29 déc. 2017). Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *European Journal of Horticultural Science, 82*(6), 277–285. https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.6.2

98 Soltaniband, V., Brégard, A., Gaudreau, L., & Dorais, M. (juillet 2022). Biostimulants promote plant development, crop productivity, and fruit quality of protected strawberries. *Agronomy, 12*(7), 1684. https://doi.org/10.3390/agronomy12071684

99 Soumare, A., Diedhiou, A. G., Thuita, M., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Gopalakrishnan, S., & Kouisni, L. (2020). Exploiting biological nitrogen fixation: A route towards a sustainable agriculture. *Plants, 9*(8), 1011. https://doi.org/10.3390/plants9081011

100 Cataldo, E., Fucile, M., & Mattii, G. B. (2022). Biostimulants in viticulture: A sustainable approach against biotic and abiotic stresses. *Plants, 11*(2), 162. https://doi.org/10.3390/plants11020162

101 Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil, 383*, 3–41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8

102 Domka, A. M., Rozpaądek, P., & Turnau, K. (15 mars 2019). Are fungal endophytes merely mycorrhizal copycats? The role of fungal endophytes in the adaptation of plants to metal toxicity. *Frontiers in Microbiology, 10*, 371. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00371

103 Fernandes, A. S., Nass, P. P., Oliveira, Á., & Zepka, L. Q. (2020). Chlorophylls as food additives. In *Pigments from microalgae handbook*, 391-420. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50971-2_16

104 Mitchell, S., Weersink, A., & Bannon, N. (2020). Adoption barriers for precision agriculture technologies in Canadian crop production. *Canadian Journal of Plant Science, 101*(3), 412-416. https://doi.org/10.1139/cjps-2020-0234

105 Makinde, A., Islam, M. M., Wood, K. M., Conlin, E., Williams, M., & Scott, S. D. (juillet 2022). Investigating perceptions, adoption, and use of digital technologies in the Canadian beef industry. *Computers and Electronics in Agriculture, 198*, Article 107095. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107095

106 von Keyserlingk, M. A. G., Mills, K. E., & Weary, D. M. (2024). Attitudes of western Canadian dairy farmers toward technology. *Journal of Dairy Science, 107*(2), 933–943. https://doi.org/10.3168/jds.2023-23279

107 Fiocco, D., Ganesan, V., Garcia de la Serrana Lozano, M., and Sharifi, H. (7 févr. 2023). *Agtech: Breaking down the farmer adoption dilemma*. https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agtech-breaking-down-the-farmer-adoption-dilemma

108 Huneke, M., Vinodrai, T., Hall, H. M (août 2024). *Crunching the numbers: A snapshot of Canada's agricultural technology landscape*. https://uwaterloo.ca/disruptive-technologies-economic-development/sites/default/files/uploads/documents/ag-crunchbase-report-august-2024-final.pdf

109 Weersink, A., von Massow, M., Bannon, N., Ifft, J., Maples, J., McEwan, K., McKendree, M. G. S., Nicholson, C., Novakovic, A., Rangarajan, A., Richards, T., Rickard, B., Rude, J., Schipanski, M., Schnitkey, G., Schulz, L., Schuurman, D., Schwartzkopf-Genswein, K., Stephenson, M., … Wood, K. (2021). COVID-19 and the agri-food system in the United States and Canada. *Agricultural Systems, 188*, Article 103039. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103039

110 Statistique Canada (28 mars 2025). *Revenus et dépenses d'exploitation des fermes, 2023 (données révisées)*. https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/250328/dq250328e-fra.htm

111 Chen, Z., J. et Clark, J. (16 mars 2023). *Les exploitations agricoles du Canada ont été plus rentables en 2020 qu'en 2015*. Statistique Canada. https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/96-325-x/2021001/article/00015-fra.htm

112 Talukder, S. (20 mars 2025). *Sol fertile : Les deux minéraux critiques essentiels à la sécurité alimentaire du Canada et des États-Unis.* https://www.rbc.com/fr/leadership-avise/lespace-commercial/sol-fertile-les-deux-mineraux-critiques-essentiels-a-la-securite-alimentaire-du-canada-et-des-etats-unis/

113 Gouvernement du Canada (25 nov. 2024). *Note pour la période des questions : Impact des tarifs douaniers sur le prix des engrais provenant de Russie*. https://rechercher.ouvert.canada.ca//qpnotes/record/aafc-aac,AAFC-2025-QP-00015

114 Camley, M. L., Lalonde, P. M., & Gullason, K. (21 mars 2025). *China announces tariffs targeting Canadian agriculture and food products*. https://www.dentons.com/en/insights/newsletters/2025/march/21/trump-2-0-navigating-change-in-canada/china-announces-tariffs-targeting-canadian-agriculture-and-food-products

115 Conseil canadien du porc (2020). *Commerce extérieur*. https://www.cpc-ccp.com/francais/foreign-trade

116 Armstrong, T. R., Fisk, J., Hand, K. et Khanna, S. (sept. 2023). *La résilience du secteur agroalimentaire canadien : une boîte à outils pour gérer les crises*. (en anglais). Institut canadien des politiques agroalimentaires. https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2023/09/2023-09-13-Canadian-Agri-Food-Resilience-CAPI-EN.pdf

117 Réseau canadien d'innovation en alimentation (mai 2024). *Trouver des solutions pour contrer l'inflation alimentaire : comment l'adoption d'innovations par le secteur canadien de la transformation des aliments aplanira la courbe*. https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/CFIN/6668c204-cc27-460e-a14a-1952a7f4c558/UploadedImages/Unpuzzling-Food-Inflation-2024-FR.pdf

118 Réseau canadien d'innovation en alimentation (mai 2024). *Trouver des solutions pour contrer l'inflation alimentaire : comment l'adoption d'innovations par le secteur canadien de la transformation des aliments aplanira la courbe*. https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/CFIN/6668c204-cc27-460e-a14a-1952a7f4c558/UploadedImages/Unpuzzling-Food-Inflation-2024-FR.pdf

119 Brown, W. M., Ferguson, S. M., & Viju-Miljusevic, C. (2020). Farm size, technology adoption and agricultural trade reform: Evidence from Canada. *Journal of Agricultural Economics, 71*(3), 676–697. https://doi.org/10.1111/1477-9552.12372

120 Growclass. (s. d.). Join Growclass and see the growth you deserve in 2025. https://www.growclass.co/scholarships-industries

121 Betkowski, B. (1er mai 2025). *Study tackles challenge of Canada's family farming legacy*. University of Alberta. https://www.ualberta.ca/en/folio/2025/05/study-tackles-challenge-of-canadas-family-farming-legacy.html.

122 Hiebert, K., Lussier, D., Lika, E. et McCann, T. (mai 2025). *L'avenir est numérique : l'agriculture numérique et la politique agricole canadienne.* Institut canadien des politiques agroalimentaires. https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2025/05/2025-04-20-Digital-Agriculture-FR-CAPI.pdf

123 Adde, M. (juin 2023). *Promouvoir l'agriculture durable : tirer parti des connaissances comportementales pour des politiques efficaces d'adoption des technologies* (en anglais). Institut canadien des politiques agroalimentaires. https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2023/06/2023-06-19-Melat-Adde-Individual-Report-CAPI-EN.pdf

124 University of the Fraser Valley. (s. d.). *Sustaining a critical, renewable resource*. https://www.ufv.ca/food-agriculture-institute/the-research/supply-and-urban-agriculture/agri-food-training-and-education/

125 Access Employment. (s. d.). *Connecting to careers in agricultural technology within vertical farming*. https://accesemployment.ca/programs/bridging-and-sector-specific-programs/connecting-to-careers-in-agricultural-technology-within-vertical-farming

126 Collège CanScribe (s. d.). *Agriculture Technology Course*. https://canscribe.com/agriculture-technology-course/

127 Fulton, M., Pigeon, M. et Oemichen, B. (6 oct. 2022). *Une nouvelle approche agricole : La technique agricole de pointe et l'avenir du secteur agricole*. https://fsc-ccf.ca/fr/blog-agtech/

128 Compétences Transformation Alimentaire Canada (5 mars 2025). *La demande de métiers qualifiés dans la transformation des aliments et des boissons*. https://fpsc-ctac.com/wp-content/uploads/2025/03/FPSC-CS-Trades_French.pdf

129 Compétences Transformation Alimentaire Canada (CTAC) (17 janv. 2025). *À la croisée de la grandeur : Observations clés et recherche sur le marché du travail - Industrie canadienne de la transformation des aliments et des boissons*. https://fpsc-ctac.com/wp-content/uploads/2024/09/A-la-croisee-de-la-grandeur-CTAC-1.pdf

130 Makinde, A., Islam, M. M., Wood, K. M., Conlin, E., Williams, M., & Scott, S. D. (juillet 2022). Investigating perceptions, adoption, and use of digital technologies in the Canadian beef industry. *Computers and Electronics in Agriculture, 198*, Article 107095. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107095

131 Huneke, M., Vinodrai, T., Hall, H. M (août 2024). *Crunching the numbers: A snapshot of Canada's agricultural technology landscape*. https://uwaterloo.ca/disruptive-technologies-economic-development/sites/default/files/uploads/documents/ag-crunchbase-report-august-2024-final.pdf

132 Twum, K. O. (mai 2025). *Obstacles à l'adoption : l'agriculture numérique dans le paysage de la production alimentaire de l'Ontario*. Institut canadien des politiques agroalimentaires. https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2025/08/2025-05-09-Kwaku-final-paper-fr-1.pdf

133 Maambo, H. (5 déc. 2022). *Smart farming is the future, but changes in agricultural practices must start now to achieve sustainability*. Dalhousie University. https://blogs.dal.ca/openthink/smart-farming-is-the-future-but-changes-in-agricultural-practices-must-start-now-to-achieve-sustainability/

134 Yeo, M. L., & Keske, C. M. (2 oct. 2024). From profitability to trust: factors shaping digital agriculture adoption. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 8*. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1456991

135 Mitchell, S., Weersink, A. & Bannon, N. (2021). Adoption barriers for precision agriculture technologies in Canadian crop production. *Canadian Journal of Plant Science, 101*(3), 412-416. https://doi.org/10.1139/cjps-2020-0234

136 Lundström, C., & Lindblom, J. (octobre 2021). Care in dairy farming with automatic milking systems, identified using an Activity Theory lens. *Journal of Rural Studies, 87*, 386–403. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.09.006

137 Phillips, P. W. B. (novembre 2023). *Can Canada help feed the world while reducing emissions? Assessing challenges and barriers to digital opportunities in agriculture*. Institute for Research on Public Policy. https://irpp.org/wp-content/uploads/2023/11/Can-Canada-Help-Feed-the-World-While-Reducing-Emissions.pdf

138 Bronson, K., & Sengers, P. (2022). Big tech meets big ag: Diversifying epistemologies of data and power. *Science as Culture, 31*(1), 15–28. https://doi.org/10.1080/09505431.2021.1986692

139 Fairbairn, M., Faxon, H. O., Montenegro de Wit, M., Bronson, K., Kish, Z., Ruder, S.-L., Ezirigwe, J., Abdella, S., Oguamanam, C., & Schnurr, M. A. (2025). Digital agriculture will perpetuate injustice unless led from the grassroots. *Nature Food, 6*, 312–315. https://doi.org/10.1038/s43016-025-01137-8

140 CABI. (s. d.). *Skills Framework for Agriculture*. https://www.cabi.org/products-and-services/academy/skills-framework/

141 Gouvernement du Canada (14 juill. 2025). *Agriculture et Agroalimentaire Canada*. https://agriculture.canada.ca/fr

142 University of Wisconsin-Madision. (s. d.). Transferable skills checklist for farmers. https://farms.extension.wisc.edu/files/2020/10/Transferable-Skills-Checklist.pdf

143 Peopleblox. (13 févr. 2025). *Competency framework for agriculture & agritech: Empowering the future of farming*. https://resources.peopleblox.io/blog/competency-framework-for-agriculture-agritech/

144 Catholic Relief Services. (s. d.). *SMART skills competency model*. https://asa.crs.org/wp-content/uploads/2022/08/April-6a-SMART-Skills-Competency-Model-high-res.pdf

145 Stackhouse, J. (27 août 2019). *Agriculteur 4.0 : Comment les prochains développements de connaissances peuvent transformer l'agriculture.* RBC. https://www.rbc.com/fr/leadership-avise/competences/agriculteur-4-0-comment-les-prochains-developpements-de-connaissances-peuvent-transformer-lagriculture/

146 Conseil canadien pour les ressources humaines en agriculture (s. d.). *Occasions d'apprentissage intégré au travail et d'apprentissage par l'expérience*. https://cahrc-ccrha.ca/sites/default/files/2024-06/CAHRC_Work_Integrated_Learning_APR_2024_FR_%20%281%29.pdf

147 Phillips, P. W. B. (21 nov. 2023). *Can Canada help feed the world while reducing emissions? Assessing challenges and barriers to digital opportunities in agriculture*. Institute for Research on Public Policy. https://irpp.org/research-studies/canada-feed-world-reducing-emissions/

148 EMILI. (s. d.). *Creating space for innovation on a full-scale farm*. https://emilicanada.com/innovation-farms/

149 EMILI (s. d.). *Canadian Agri-Food Data Initiative*. https://emilicanada.com/data-initiative/data-literacy/

150 Rotz, S., Gravely, E., Mosby, I., Duncan, E., Finnis, E., Horgan, M., LeBlanc, J., Martin, R., Neufeld, H. T., Nixon, A., Pant, L., Shalla, V., & Fraser, E. (mai 2019). Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labour and rural communities. *Journal of Rural Studies, 68*, 112–122. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.023

151 Higgins, V., Bryant, M., Howell, A., & Battersby, J. (octobre 2017). Ordering adoption: Materiality, knowledge and farmer engagement with precision agriculture technologies. *Journal of Rural Studies, 55*, 193–202. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.08.011

152 Bronson, K. (2019). Looking through a responsible innovation lens at uneven engagements with digital farming. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences, 90–91*(1), 1–6. https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.03.001

153 Clapp, J. (2021). The problem with growing corporate concentration and power in the global food system. *Nature Food, 2*, 404–408. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00297-7

154 Hambly, H., & Rajabiun, R. (2021). Rural broadband: Gaps, maps and challenges. *Telematics and Informatics, 60*, Article 101565. https://doi.org/10.1016/j.tele.2021.101565

155 Cattleytics. (s. d.). How our journey began. https://www.cattleytics.com/about

156 Telus Agriculture. (23 avril 2024). *Digital transformation in agriculture retail: Driving efficiency and helping ensure accuracy, every time*. https://info.telusagcg.com/hubfs/TELUS%20Agriculture_DOE%20snapshot_final_42424.pdf?utm_source=linkedin&utm_medium=paidsocial&utm_campaign=AB_DOE24_digitaltransformationsnapshot&li_fat_id=ffd70104-cbfd-451c-bc22-2270d842655d

157 Nestle Professional. (2025). *2025 foodservice trends: The latest food, beverage, and dessert trends in Canada*. https://assets.turtl.co/pdfs/tenant=nestleprofessional/2025-foodservice-trends.pdf

158 Bayer AG. (mai 2022). *Science for a better life: A global leader in health and nutrition*. https://www.bayer.com/sites/default/files/2022-05/BMO%20Farm%20to%20Market%20Conference%202022_Bayer%20AG_Handout.pdf

159 Soma, T., & Nuckchady, B. (17 déc. 2021). Communicating the benefits and risks of digital agriculture technologies: Perspectives on the future of digital agricultural education and training. *Frontiers in Communication, 6*, Article 762201. https://doi.org/10.3389/fcomm.2021.762201

160 Rotz, S., Gravely, E., Mosby, I., Duncan, E., Finnis, E., Horgan, M., LeBlanc, J., Martin, R., Neufeld, H. T., Nixon, A., Pant, L., Shalla, V., & Fraser, E. (mai 2019). Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labour and rural communities. *Journal of Rural Studies, 68*, 112–122. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.023

161 Statistique Canada (25 août 2023). *Aperçu socioéconomique de la population agricole changeante du Canada, 2021*. https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/230825/dq230825a-fra.htm

162 Centre sur les politiques scientifiques canadiennes (novembre 2024). *Innovation strategy consultation: Agriculture and agri-food sector*. https://sciencepolicy.ca/wp-content/uploads/2024/12/Consultation-Agriculture-AgriFood.pdf

163 Rock Networks. (2022). *The role of broadband in Canada's AgTech revolution*. https://www.rocknetworks.com/the-role-of-broadband-in-canadas-agtech-revolution

164 Innovation, Sciences et Développement économique Canada (29 mai 2025). *Fonds pour la large bande universelle*. Gouvernement du Canada. https://ised-isde.canada.ca/site/acces-internet-haute-vitesse-canada/fr/fonds-pour-large-bande-universelle

165 Conseil de la radiodiffusion et des télécommunications canadiennes (19 juin 2025). *Fonds pour la large bande : Combler le fossé numérique au Canada*. https://crtc.gc.ca/fra/internet/internet.htm

166 Bureau du vérificateur général du Canada (2023). *La connectivité des régions rurales et éloignées*. https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_oag_202303_02_f_44205.html

167 Statistique Canada (9 janv. 2023). *Recensement de l'agriculture de 2021 du Canada : Une histoire sur la transformation de l'industrie agricole et l'adaptabilité des exploitants agricoles canadiens*. https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/220511/dq220511a-fra.htm

168 Institut agricole du Canada (juillet 2017). *An overview of the Canadian agricultural innovation system*. https://www.aic.ca/wp-content/uploads/2021/04/AIC-An-Overview-of-the-Canadian-Agricultural-Innovation-System-2017.pdf

169 Preston, S. et Lea, N. (5 mai 2025). *Cultiver la croissance : l'impératif économique de l'expansion des fermes en période d'incertitude*. https://thoughtleadership.cibc.com/fr/article/cultiver-la-croissance-limperatif-economique-de-lexpansion-des-fermes-en-periode-dincertitude/

170 Telus Agriculture (12 déc. 2024). *Technologie agricole intelligente : comment les nouvelles solutions redéfinissent la planification des récoltes*. https://www.telus.com/agcg/fr-ca/blog-resources/digital-farming-agriculture

171 Bayer AG. (mai 2022). *Science for a better life: A global leader in health and nutrition*. https://www.bayer.com/sites/default/files/2022-05/BMO%20Farm%20to%20Market%20Conference%202022_Bayer%20AG_Handout.pdf

172 Yeo, M. L., & Keske, C. M. (2 oct. 2024). From profitability to trust: factors shaping digital agriculture adoption. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 8*. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1456991

173 Hiebert, K., Lussier, D., Lika, E. et McCann, T. (mai 2025). *L'avenir est numérique : l'agriculture numérique et la politique agricole canadienne*. Institut canadien des politiques agroalimentaires. https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2025/05/2025-04-20-Digital-Agriculture-FR-CAPI.pdf

174 Oli, D., Gyawali, B., Acharya, S., & Oshikoya, S. (mars 2025). Factors influencing learning attitude of farmers regarding adoption of farming technologies in farms of Kentucky, USA. *Smart Agricultural Technology, 10*, Article 100801. https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100801

175 Gredig, P. (s. d.). *Comment optimiser l'adoption d'une nouvelle technologie à la ferme*. Financement agricole Canada. https://www.fcc-fac.ca/fr/savoir/dotez-vous-d-une-strategie-d-adoption-de-nouvelles-technologies-efficace

176 Hamel, M. A., & Saindon, G. (2017). Shaping Canadian agriculture - A reflection on the future role of agronomists in Canadian agriculture. *Canadian Journal of Plant Science, 97*(6), 957-963. https://doi.org/10.1139/CJPS-2016-0385

177 Lemay, M. A., Clark, A., Boggs, J., & Conteh, C. (octobre 2022). *Systemic barriers and drivers to technology adoption in Canada: Lessons for agri-innovation in Ontario from stakeholders of Canada's global innovation clusters*. Brock University. https://brocku.ca/niagara-community-observatory/wp-content/uploads/sites/117/NCO-Policy-Brief-55-October-2022-Growing-Agri-Innovation-Lessons-from-Global-Innovation-Clusters-FINAL-WEB.pdf

178 Lika, E. et M, A. (juillet 2022). *Analyse des obstacles réglementaires et non réglementaires au commerce interprovincial de la viande rouge au Canada*. Institut canadien des politiques agroalimentaires. https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2022/07/2022-07-14-Meat-Trade-Report-FR.pdf

179 Fédération de l'agriculture de l'Ontario (s. d.). *Value-added agriculture.* https://ofa.on.ca/ressources/agriculture-a-valeur-ajoutee/#:~:text=La%20FAO%20appuie%20sans%20r%C3%A9serve%20la%20recommandation,La%20FAO%20croit

180 Sénat du Canada (juillet 2019). *Fabriqué au Canada : Faire croître le secteur alimentaire à valeur ajoutée au Canada*. https://sencanada.ca/fr/info-page/parl-42-1/agfo-fabrique-au-canada/

181 Conseil canadien du porc (s. d.). *Commerce extérieur*. https://www.cpc-ccp.com/francais/foreign-trade

182 Agriculture et Agroalimentaire Canada (22 mars 2025). *Le gouvernement du Canada annonce des mesures de soutien au secteur agricole à la suite de l'imposition de droits de douane par la Chine*. Gouvernement du Canada. https://www.canada.ca/fr/agriculture-agroalimentaire/nouvelles/2025/03/le-gouvernement-du-canada-annonce-des-mesures-de-soutien-au-secteur-agricole-a-la-suite-de-limposition-de-droits-de-douane-par-la-chine.html

183 Agriculture et Agroalimentaire Canada (8 mars 2025). *Les ministres fédéral, provinciaux et territoriaux de l'Agriculture se réunissent pour discuter de l'évolution des relations commerciales entre le Canada et les États-Unis*. Gouvernement du Canada. https://www.canada.ca/fr/agriculture-agroalimentaire/nouvelles/2025/03/les-ministres-federal-provinciaux-et-territoriaux-de-lagriculture-se-reunissent-pour-discuter-de-levolution-des-relations-commerciales-entre-le-can.html

184 Santé Canada (1er mai 2024). *Note d'information : Agriculture verticale et produits antiparasitaires*. Gouvernement du Canada. https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/rapports-publications/pesticides-lutte-antiparasitaire/fiches-renseignements-autres-ressources/agriculture-verticale-produits-antiparasitaires.html

185 GeoPard Agriculture. (s. d.). *Applications of machine learning for precision agriculture*. https://geopard.tech/blog/applications-of-machine-learning-for-precision-agriculture/

186 Yaghi, M. (2023). *Agriculteurs demandés : Le renouvellement de la main-d'œuvre dont le Canada a besoin pour mener la prochaine révolution verte.* RBC. https://www.rbc.com/fr/leadership-avise/institut-action-climatique/agriculteurs-rapports/agriculteurs-demandes-le-renouvellement-de-la-main-doeuvre-dont-le-canada-a-besoin-pour-mener-la-prochaine-revolution-verte/

187 Conference Board du Canada et Centre des Compétences futures (2024). *La nouvelle frontière du secteur agroalimentaire canadien*. https://fsc-ccf.ca/wp-content/uploads/2024/07/la-nouvelle-frontiere_2024.pdf

188 Mitchell, P., Hilts, S., Asselin, J., & Mausberg, B. (juillet 2007). *Planting the first seed: Creating opportunities for ethnic farmers & young farmers in the Greenbelt*. Greenbelt Foundation. https://epe.lac-bac.gc.ca/100/200/300/friends_of_greenbelt/occassional_paper_series/n03/Planting_the_First_Seed.pdf?nodisclaimer=1

189 Bobiwash, H. (juillet 2020). *Indigenous women entrepreneurs: Valuable investments in their businesses, families and communities*. National Aboriginal Capital Corporations Association (NACCA). https://nacca.ca/wp-content/uploads/2020/07/NACCA-IWE-Summary-Report.pdf

190 Greig, J. (12 juill. 2019). *Agriculture foreign workers get new path to residency*. Manitoba Co-operator. https://www.manitobacooperator.ca/daily/agriculture-foreign-workers-get-new-path-to-residency/

191 Wichers, G. (15 févr. 2024). *Farm employee, employer's perceptions differ on worker retention*. AgCanada. https://www.agcanada.com/daily/farm-employee-employers-perceptions-differ-on-worker-retention

192 Conseil canadien pour les ressources humaines en agriculture (septembre 2019). *Répercussions des pénuries de main-d'œuvre sur l'avenir de l'agriculture en Ontario – Prévisions agricoles jusqu'en 2029*. https://cahrc-ccrha.ca/sites/default/files/2021-11/ON_FR_Reduced%20size.pdf

193 Xu, L., Lu, Y. et Zhong, J. (27 mars 2024). *Travailleurs étrangers temporaires dans le secteur de l'agriculture primaire au Canada : transition de la résidence temporaire à la résidence permanente et maintien en emploi dans l'industrie après la transition*. Statistique Canada. https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/36-28-0001/2024003/article/00001-fra.htm

194 Fulton, M., Pigeon, M. et Oemichen, B. (6 oct. 2022). *Une nouvelle approche agricole : La technique agricole de pointe et l'avenir du secteur agricol.* https://fsc-ccf.ca/fr/blog-agtech/

195 Conseil canadien pour les ressources humaines en agriculture (juillet 2024). *Récolter les talents partout au Canada : Exploration de la demande dans une profession – compétences propres à l'agriculture*. https://cahrc-ccrha.ca/sites/default/files/2024-07/CAHRC_Specific_Skills_JUNE_2024-FR-v4.pdf

196 Stackhouse, J. (27 août 2019). *Agriculteur 4.0 : Comment les prochains développements de connaissances peuvent transformer l'agriculture*. RBC. https://www.rbc.com/fr/leadership-avise/competences/agriculteur-4-0-comment-les-prochains-developpements-de-connaissances-peuvent-transformer-lagriculture/

197 Cukier, W., Saunders, V., Love, M., Cassinelli, C. et Jae, K. (mars 2024). *GÉcologisation des petites et moyennes entreprises : Les entrepreneures dans la transition vers un avenir carboneutre*. Diversity Institute. https://www.torontomu.ca/content/dam/diversity/reports/DI-FS-Greening-SMEs-Feb2024-v1-FR.pdf

198 Nchang, O. et Rudnik, T. (2018). *Incubator and accelerator role in the social entrepreneurship process: Swedish context*. [[Mémoire de maîtrise, Umeå School of Business and Economics] https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1288030/FULLTEXT01.pdf.

199 Potluri, S., Ananthram, S., & Phani, B. V. (2024). Women green entrepreneurship: Conceptualisation and use of bricolage for policy recommendations. *Business Strategy and the Environment, 33*(6), 5485–5502. https://doi.org/10.1002/bse.3764

200 Keller, J. C. (2014). "I wanna have my own damn dairy farm!": Women farmers, legibility, and feminities in rural Wisconsin, U.S.*. *Journal of Rural Social Sciences, 29*(1), 75-102. http://ezproxy.lib.torontomu.ca/login?url=https://www.proquest.com/scholarly-journals/i-wanna-have-my-own-damn-dairy-farm-women-farmers/docview/1549962810/se-2

201 Pearson, J. (1979). Note on female farmers. *Rural Sociology, 44*(1), 189 https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A4%3A32611268/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A11748715&crl=c&link_origin=scholar.google.ca

202 Huang, J., & Aaltio, I. (mars 2014). Guanxi and social capital: Networking among women managers in China and Finland. *International Journal of Intercultural Relations, 39*, 22-39. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147176713001041

203 Budworth, M. H. et Mann, S. (1er nov. 2021). *Succès en agriculture : une perspective des réseaux sociaux axée sur les genres*. Conseil canadien pour les ressources humaines en agriculture. https://cahrc-ccrha.ca/sites/default/files/2021-11/SAWA%20SNA%20report-FR.pdf

204 Chamberlain, L. (2002) *'Arctic inspirations. Women creating small businesses and personal success in small communities', Taking Wing Conference Report*. Conference on Gender Equality and Women in the Arctic, Saariselka, Finland, 3–6 Aug. 2002, pp.65–78. https://oaarchive.arctic-council.org/items/eac660c3-ab23-4edf-a9ba-ffac1d0b2a49/full

205 Université Fraser Valley (s. d.). *Sustaining a critical, renewable resource*. https://www.ufv.ca/food-agriculture-institute/the-research/supply-and-urban-agriculture/agri-food-training-and-education/

206 Access Employment. (s. d.). *Connecting to careers in agricultural technology within vertical farming*. https://accesemployment.ca/programs/bridging-and-sector-specific-programs/connecting-to-careers-in-agricultural-technology-within-vertical-farming

207 Collège CanScribe (s. d.). *Agriculture Technology Course*. https://canscribe.com/agriculture-technology-course/

208 Fulton, M., Pigeon, M. et Oemichen, B. (6 oct. 2022). Une nouvelle approche agricole : La technique agricole de pointe et l'avenir du secteur agricole. https://fsc-ccf.ca/fr/blog-agtech/

209 Conseil canadien pour les ressources humaines en agriculture (s. d.). *Occasions d'apprentissage intégré au travail et d'apprentissage par l'expérience*. https://cahrc-ccrha.ca/sites/default/files/2024-06/CAHRC_Work_Integrated_Learning_APR_2024_FR_%20%281%29.pdf

210 Itano-Boase, M., Wijesingha, R., Cukier, W., Latif, R., & Hon, H. (2021). Exploring diversity and inclusion in work-integrated learning: An ecological model approach. *International Journal of Work-Integrated Learning, 22*(3), 253. https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1313423.pdf

211 Cukier, W. et Zemla, A. (juin 2025). *La durabilité alimentaire dans le Nord : Défis et possibilités liés aux compétences dans le cadre des projets de serre communautaire*. Diversity Institute. https://www.torontomu.ca/content/dam/diversity/reports/food-sustainability-in-the-north/Food%20Sustainability%20in%20the%20North%20(2).pdf

TED ROGERS SCHOOL OF MANAGEMENT | DIVERSITY INSTITUTE

Future Skills Centre | Centre des Compétences futures