

Mai 2025

Obstacles à l'adoption : L'agriculture numérique dans le paysage de la production alimentaire de l'Ontario

Rapport *Recherche* préparé pour
l'ICPA par Kwaku Owusu Twum



Rapport
Recherche



Institut canadien des politiques agro-alimentaires
960, avenue Carling, bâtiment 60 du CEF
Ottawa, ON K1A 0C6
capi-icpa.ca

L'Institut canadien des politiques agro-alimentaires a pour mission de diriger l'élaboration des politiques, de collaborer avec ses partenaires et de faire progresser les solutions politiques dans le domaine de l'agriculture et de l'alimentation.



Ce rapport est soutenu en partie par la RBC Foundation par le biais de RBC Tech for Nature dans le cadre de l'initiative environnementale plus large de CAPI, Policies for Land Use, Agriculture & Nature (PLAN).

L'ICPA remercie son groupe de pairs évaluateurs et le Comité consultatif pour leurs commentaires sur les versions antérieures de ce rapport. Les résultats, interprétations et conclusions de ce rapport n'engagent que son auteur.

Note de l'ICPA

L'ICPA reconnaît l'importance de favoriser et d'encadrer la prochaine génération de leaders d'opinion issus de programmes de doctorat partout au Canada, qui travaillent dans des domaines multidisciplinaires. Grâce à son programme de boursiers doctoraux, l'ICPA offre à un petit groupe innovateur de jeunes étudiants l'occasion d'appliquer leurs connaissances et leur expertise à certains des enjeux politiques les plus importants en agriculture.

La quatrième cohorte de boursiers doctoraux de l'ICPA (2024-2025) a été chargée d'axer ses recherches sur les politiques nécessaires pour répondre aux pressions exercées sur les terres et les ressources naturelles du Canada par la production agricole face au changement climatique, à la perte de biodiversité, à la croissance de la population mondiale et aux préoccupations en matière de sécurité alimentaire. Ce document est le résultat final du programme et met en évidence la nature interdisciplinaire de la recherche des boursiers en ce qui concerne l'adoption des technologies numériques dans l'agriculture en Ontario.

Cette bourse est soutenue en partie par RBC Fondation par le biais de RBC Tech for Nature dans le cadre de l'initiative environnementale plus large de l'ICPA, les Politiques sur l'utilisation des terres, l'agriculture et la nature (PLAN).

L'ICPA et les boursiers de doctorat aimeraient souligner la contribution des quatre membres du Comité consultatif d'experts qui ont fourni de précieux commentaires lors de la préparation de ce rapport – Dr. **Marie-Élise Samson**, Université Laval, Dr. **Tom Nudds**, Université de Guelph, **Peter Sykanda**, Fédération de l'agriculture de l'Ontario, et **Anatoliy Oginsky**, ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Alberta.

Points saillants

- **L'adoption des technologies agricoles numériques (TAN) est inégale en Ontario.** Les régions du sud sont en tête, tandis que les exploitations du nord et les plus petites entreprises sont à la traîne en raison des coûts et des lacunes en matière de connectivité.
- **La fragmentation des politiques limite le progrès.** Des programmes fédéraux et provinciaux mal alignés créent la confusion et ralentissent l'adoption.
- **Les TAN réduisent les émissions et améliorent l'efficacité.** Les zones à forte fréquentation affichent de meilleurs résultats environnementaux, notamment une réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- **La plupart des agriculteurs ne connaissent pas les programmes du TAN.** Les efforts de communication et de sensibilisation n'atteignent pas les principales communautés agricoles.
- **L'Ontario a besoin d'une stratégie coordonnée en matière d'agriculture numérique.** Une infrastructure, une formation et une gouvernance des données plus solides sont essentielles pour une adoption inclusive et intelligente sur le plan climatique.

Table des matières

NOTE DE L'ICPA	3
PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS	3
TABLE DES MATIERES	4
GLOSSAIRE	5
1. INTRODUCTION	5
1.1 Contexte et justification	5
1.2 Objectifs de la recherche et questions clés	6
1.3 Pertinence politique et contributions attendues	6
2. CONTEXTE	7
2.1 Le paysage de l'agriculture numérique au Canada	7
2.2 Concepts clés et définitions	8
3. ANALYSE DOCUMENTAIRE	9
3.1 Comprendre l'agriculture numérique et son rôle dans le paysage de la production alimentaire de l'Ontario	9
3.2 Tendances clés de l'adoption de l'agriculture numérique	9
3.3 Considérations institutionnelles et de gouvernance relatives à l'agriculture numérique	10
3.4 Implications politiques et lacunes de la recherche	11
4. LA METHODOLOGIE	12
4.1 Analyse politique et institutionnelle :	12
4.2 Analyse spatiale	13
4.3 Aperçu de la collecte de données	13
5. LES RESULTATS	14
5.1 Lacunes politiques et institutionnelles dans la gouvernance de l'agriculture numérique	14
Tableau 5.2.	14
5.2 Comparaison : L'Ontario par rapport aux principales juridictions mondiales	16
5.3 Profils spatiaux des DAT et des effets du changement climatique en Ontario	17
5.3 Perception des agriculteurs quant à l'adoption de l'agriculture numérique en Ontario	20
6. IMPLICATIONS POLITIQUES	23
6.1 Comblar le fossé numérique dans l'agriculture ontarienne	23
6.2 Renforcement de la coordination institutionnelle et de l'alignement des politiques	24
6.3 Renforcement des capacités et transfert de connaissances	24
6.4 Mise en place d'un cadre solide de gouvernance des données	25
6.5 Aligner l'agriculture numérique sur les objectifs environnementaux et climatiques	25
7. CONCLUSION	25
REFERENCES	27

Glossaire

AAC - Agriculture et Agroalimentaire Canada
CRTC - Conseil de la radiodiffusion et des télécommunications canadiennes
AD - Agriculture numérique
TAN - Technologies agricoles numériques
GPS - Système de positionnement global
SIG - Système d'information géographique
PA - Agriculture de précision
OFA - Fédération de l'agriculture de l'Ontario
UAV - Unmanned Aerial Vehicle (véhicule aérien sans pilote)



1. Introduction

1.1 Contexte et justification

Les terres agricoles de l'Ontario sont essentielles à l'approvisionnement alimentaire et à l'économie de la province et jouent un rôle central dans le système agroalimentaire du Canada, en fournissant une part importante des produits, des céréales et du bétail du pays. Pourtant, ce cœur de l'agriculture est soumis à des pressions de plus en plus fortes. Le changement climatique, la fragmentation de l'habitat et l'expansion urbaine - en particulier dans la région du Golden Horseshoe - réduisent les terres arables et menacent la durabilité environnementale à long terme. Avec moins de 5 % des terres agricoles du Canada, dont une grande partie est concentrée dans le sud de l'Ontario, les agriculteurs sont confrontés à des choix difficiles quant à la manière de produire des aliments et de rester rentables tout en protégeant les sols, l'eau et la biodiversité. Pour relever ces défis, il faut des solutions innovantes et adaptées au niveau local, qui permettent d'aligner la croissance agricole sur la gestion de l'environnement.

L'agriculture numérique représente un changement important dans les pratiques agricoles modernes où les données et les outils numériques sont exploités pour améliorer la prise de décision, optimiser les intrants et améliorer les résultats en matière de durabilité. Plutôt que de s'appuyer uniquement sur des observations manuelles ou des méthodes conventionnelles, l'agriculture numérique permet aux agriculteurs d'appliquer des interventions précises, en temps réel, adaptées aux conditions des cultures et de l'environnement. Dans le cadre de ce document, les technologies agricoles numériques (TAN) comprennent les technologies numériques basées sur le GPS, en particulier les outils d'agriculture de précision (AP), les systèmes d'information géographique (SIG) et les véhicules aériens sans pilote (UAV).

Ces TAN comprennent des tracteurs guidés par GPS, la surveillance par drone, des capteurs de sol et des applications d'aide à la décision qui aident à gérer les intrants agricoles (eau, engrais ou produits de protection des cultures) avec plus de précision. Ces outils aident les agriculteurs à prendre des décisions plus éclairées sur l'utilisation de l'eau, l'application d'engrais et les calendriers de plantation - des adaptations essentielles à une époque d'incertitude climatique (Rose et al., 2021).

Elles peuvent augmenter le rendement des cultures, réduire les coûts et diminuer l'impact sur l'environnement. Mais si leur valeur est évidente, leur adoption reste inégale dans l'ensemble de l'Ontario. (Balasundram et al., 2023). Les agriculteurs des régions bien connectées ayant accès à l'infrastructure numérique et au capital financier sont mieux placés pour intégrer ces technologies. En revanche, de nombreuses petites et moyennes exploitations agricoles sont confrontées à des obstacles tels qu'un accès limité à la large bande, un manque de soutien technique et une formation insuffisante. Les efforts politiques actuels se concentrent souvent sur les incitations économiques, telles que les subventions d'équipement ou les crédits d'impôt, mais ils s'attaquent rarement aux recherches et aux obstacles structurels plus profonds et spécifiques à la région, tels que la culture numérique, les disparités de taille des exploitations, etc. (RBC, 2023 ; FarmersForum, 2023).

Cette situation a conduit à une adoption incohérente et à des occasions manquées d'étendre les TAN là où elles sont le plus nécessaires. En outre, alors que les discussions politiques mettent de plus en plus l'accent sur le rôle de la technologie dans l'agriculture, il y a un manque de preuves empiriques sur la façon dont les TAN contribuent à l'adaptation au climat et à la durabilité écologique dans les systèmes de production alimentaire de l'Ontario. Sans une compréhension globale de l'endroit et de la manière dont l'agriculture numérique est mise en œuvre, de ceux qui en bénéficient et des obstacles qui persistent, l'efficacité des interventions politiques reste incertaine.

Pour combler ces lacunes et faire en sorte que l'agriculture numérique devienne un élément central de la stratégie de l'Ontario en matière de résilience climatique et de sécurité alimentaire, les politiques doivent aller au-delà des approches uniques. La stratégie en matière d'agriculture numérique doit être fondée sur des données probantes et adaptée aux régions. Il s'agit notamment d'investir dans l'infrastructure numérique, de renforcer la formation des agriculteurs et les services de vulgarisation, et de développer des systèmes de suivi qui tiennent compte des résultats agronomiques et environnementaux. En adoptant une approche politique plus intégrée et inclusive, l'agriculture numérique peut servir non seulement d'outil d'amélioration de la productivité, mais aussi de catalyseur essentiel de la résilience climatique et de la gestion écologique dans le secteur agroalimentaire de l'Ontario.

1.2 Objectifs de la recherche et questions clés

Ce document étudie la manière dont les technologies agricoles numériques (TAN) façonnent la capacité des agriculteurs de l'Ontario à lutter contre le changement climatique en identifiant les domaines dans lesquels ces outils sont performants, ceux dans lesquels ils sont insuffisants et ce qui est nécessaire pour combler l'écart. Plus précisément, il cherche à :

- Évaluer les schémas spatiaux d'adoption du TAN et leurs implications environnementales.
- Identifier les principaux obstacles et opportunités dans les cadres politiques soutenant l'agriculture numérique.
- Fournir des recommandations politiques pour améliorer l'intégration du TAN dans les systèmes alimentaires durables.

Pour atteindre ces objectifs, les questions clés suivantes seront abordées :

1. Les outils agricoles numériques aident-ils les agriculteurs ontariens à lutter contre le changement climatique ou créent-ils de nouveaux obstacles ?
2. Où les TAN sont-ils adoptés en Ontario, et comment cela influe-t-il sur les résultats environnementaux dans le monde réel ?
3. Quelles sont les lacunes politiques qui limitent le rôle des TAN dans l'utilisation durable des terres et le changement climatique, et où se trouvent les plus grandes opportunités ?
4. Quelles stratégies ciblées peuvent favoriser une adoption plus intelligente et plus large des TAN dans les systèmes agroalimentaires de l'Ontario ?

1.3 Pertinence politique et contributions attendues

Cette recherche est directement pertinente pour les discussions en cours sur **l'utilisation durable des terres, l'innovation agricole et la politique climatique en Ontario**. En analysant les (in)capacités de l'agriculture numérique par le biais d'une **approche spatiale, socio-économique et axée sur les politiques**, ce document d'orientation permettra :

- **Fournir des informations empiriques** sur l'efficacité des TAN pour relever les défis environnementaux.
- **Identifier les lacunes et les désalignements politiques** qui entravent le plein potentiel de l'agriculture numérique.
- **Soutenir l'élaboration de politiques fondées sur des données probantes**, en veillant à ce que l'agriculture numérique s'aligne sur les objectifs de durabilité et de résilience.
- **Améliorer la prise de décision parmi les principales parties prenantes**, y compris les décideurs politiques, les dirigeants de l'industrie agroalimentaire et les communautés agricoles.

Cette recherche évalue l'influence de l'agriculture numérique sur l'atténuation des pressions exercées sur les terres agricoles et le climat de l'Ontario par le biais d'une analyse spatiale de l'adoption de l'agriculture numérique et de ses effets sur l'environnement. L'étude se concentre sur l'Ontario, l'une des provinces canadiennes les plus urbanisées et un centre agricole clé où l'adoption de l'agriculture numérique a été relativement avancée, alors que son impact sur l'environnement reste sous-exploré. L'importance de l'Ontario dans l'agriculture canadienne, combinée à la pression exercée par l'utilisation des terres et à la variété du climat, en fait une région idéale pour l'examen de la distribution spatiale et des effets socio-écologiques des TAN.

En caractérisant le rôle de l'agriculture numérique dans le paysage de la production alimentaire de l'Ontario, ce document d'orientation permettra d'élaborer des **politiques plus cohérentes, inclusives et tournées vers l'avenir**, qui renforceront la résilience du secteur agricole de la province face aux défis climatiques et écologiques.

2. Contexte

2.1 Le paysage de l'agriculture numérique au Canada

Le Canada se classe au 8^e rang des exportations agroalimentaires mondiales, mais au 15^e rang pour les terres arables, dont seulement 4,8 % se prêtent à la production de grandes cultures (Yildirim et al., 2019 ; Gouvernement du Canada, 2024). Une part importante de ces terres agricoles se trouve en Ontario, ce qui place la province au cœur de la sécurité alimentaire nationale et de la compétitivité agroalimentaire. Mais cet avantage s'accompagne d'une pression urbaine. Les agriculteurs de l'Ontario doivent répondre aux exigences croissantes de productivité tout en réduisant les émissions climatiques et en protégeant la santé des sols et de l'eau, d'autant plus que l'étalement urbain et l'instabilité climatique réduisent les terres agricoles viables. Pour faire face à ces compromis complexes, il faut prendre des décisions plus intelligentes et fondées sur des données. L'agriculture numérique, grâce à des outils tels que l'agriculture de précision (utilisée par 15 % des agriculteurs), la télédétection et les systèmes d'aide à la décision, offre des voies prometteuses pour accroître l'efficacité et la résilience tout en réduisant les impacts environnementaux (Abdulai, 2022 ; Green et al., 2021 ; Rose et al., 2021) [voir : Figure 1A]. Cependant, l'Ontario est confronté à des obstacles à l'adoption distincts, notamment des lacunes dans l'infrastructure numérique, un soutien politique inégal et un manque de données spécifiques à la région. Sans interventions ciblées et localisées, la province risque de ne pas atteindre ses objectifs en matière de climat et de sécurité alimentaire. (Abdulai, 2022 ; Green et al., 2021 ; Rose et al., 2021) .

Malgré la poussée nationale en faveur de l'agriculture numérique, l'Ontario se distingue en tant que chef de file provincial en matière d'adoption. Alors que l'adoption globale des technologies agricoles numériques (TAN) au Canada reste modeste - seulement 13 % des exploitations agricoles utilisent des systèmes guidés par GPS - le secteur des grandes cultures de l'Ontario raconte une histoire différente. Plus de 78 % des exploitations de grandes cultures de la province utilisent la technologie GPS pour le suivi, le guidage et les applications d'agriculture de précision (Gouvernement du Canada, 2023 ; FarmersForum, 2023). L'Ontario est donc à l'avant-garde pour ce qui est de l'utilisation des outils numériques en vue d'améliorer l'efficacité et les résultats environnementaux. Pourtant, la province est toujours confrontée à des lacunes en matière d'accès équitable, d'infrastructure et de soutien politique adapté. Malgré des investissements de plus de 3 milliards de dollars de la part du gouvernement et d'acteurs privés, l'adoption reste inégale, en particulier dans les petites et moyennes exploitations agricoles (Lemay et al., 2022 ; Ahuja et al., 2023). Pour que l'agriculture numérique atteigne son plein potentiel - réduire les émissions de 40 % d'ici 2050 et améliorer la compétitivité de l'Ontario - les politiques doivent maintenant passer d'un financement général à des stratégies ciblées et adaptées aux régions qui comblent le fossé de l'adoption (Abdulai, 2022 ; Green et al., 2021).

Toutefois, la question de savoir si ces TAN soutiennent ou entravent la capacité des agriculteurs à faire face au changement climatique, en particulier dans un contexte socio-écologique et géographique, n'a pas été

suffisamment étudiée. En outre, les recherches sur les "capacités" en tant que nouvelle optique théorique permettant d'examiner la manière dont les structures et processus locaux et institutionnels façonnent l'adoption de l'agriculture numérique sont limitées (Abdulai, 2022 ; Green et al., 2021 ; Rose et al., 2021). En outre, des questions restent sans réponse quant à la manière dont les connaissances, les stratégies de gestion et les valeurs des agriculteurs en matière de TAN et de durabilité influent sur les résultats des décisions climatiques au niveau de l'exploitation (Hurst & Spiegel, 2023). Les études antérieures ont principalement évalué les impacts de l'AN dans un contexte linéaire et non spatial, en mettant l'accent sur ses résultats économiques. Il est donc impératif d'explorer les nuances environnementales de l'agriculture numérique.

2.2 Concepts clés et définitions

Pour comprendre le rôle de l'agriculture numérique dans la lutte contre changement climatique, il est essentiel de clarifier plusieurs concepts clés :

- **Agriculture numérique** : L'utilisation de technologies numériques avancées intégrées dans un système afin d'améliorer la productivité et la durabilité de l'agriculture. Ce document se concentre sur les technologies basées sur le GPS, en particulier les outils d'agriculture de précision (AP), les SIG et les drones.
- **Capacité** : La capacité des individus, des organisations et des systèmes à planifier, mettre en œuvre et maintenir des actions qui permettent d'atteindre les résultats souhaités. Dans le contexte de l'agriculture numérique, la capacité fait référence à la mesure dans laquelle les agriculteurs possèdent les ressources, les connaissances, les compétences, l'infrastructure, le soutien institutionnel et les environnements favorables nécessaires pour adopter, adapter et utiliser efficacement les technologies de l'agriculture numérique (TAN). Il s'agit non seulement des compétences techniques, mais aussi de l'accès au capital financier, de la culture numérique, des réseaux de conseil de confiance et des politiques de soutien qui, ensemble, déterminent la capacité d'un agriculteur à intégrer les TAN dans la prise de décision quotidienne et la gestion à long terme de l'exploitation. [Voir : Figure 1B]
- **Institutions** : Organisations formelles responsables de la gouvernance, de la mise en œuvre des politiques et de la prestation des services publics. Dans cette étude, les institutions comprennent les ministères, les agences agricoles et les organismes de recherche qui façonnent les politiques d'agriculture numérique.
- **Gouvernance** : Les systèmes et les processus qui guident la prise de décision et la mise en œuvre des politiques dans un cadre social ou institutionnel. Dans le domaine de l'agriculture numérique, la gouvernance comprend les cadres politiques, les mécanismes réglementaires et la coordination des parties prenantes en vue d'une adoption durable des TAN.

Figure 1A

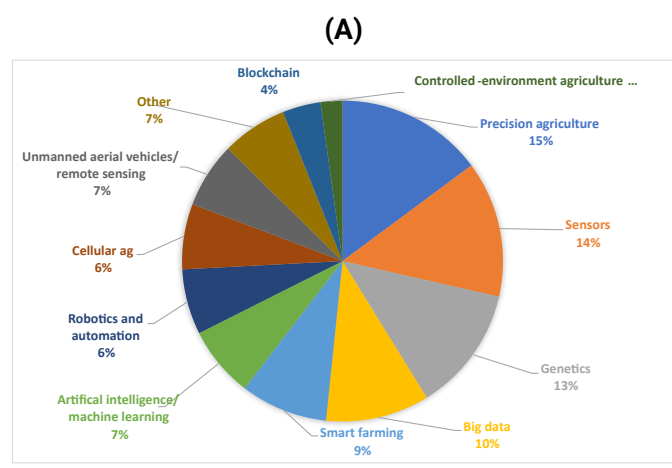
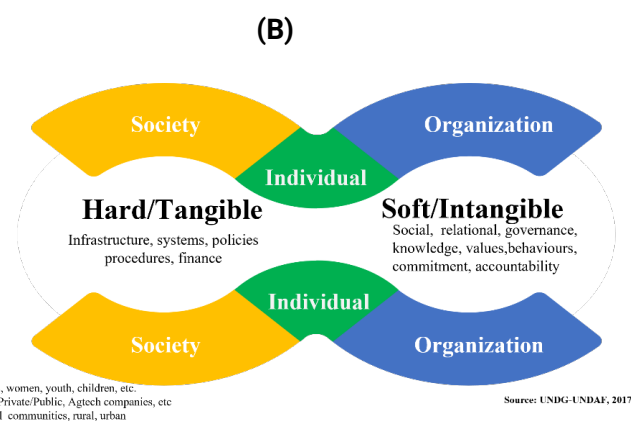


Figure 1B



Source : Revue de littérature des auteurs, 2025, basée sur (Green et al, 2021 ; Dibbern et al, 2024).

Source : UNDG-UNDAF,2014. <https://undg-undaf.org/>

3. Analyse documentaire

3.1 Comprendre l'agriculture numérique et son rôle dans le paysage de la production alimentaire de l'Ontario

Au cours de la dernière décennie, l'adoption du TAN a augmenté dans le monde entier. En fin de compte, l'adoption de ces technologies est motivée par la nécessité de rester compétitif sur le marché mondial de l'alimentation. La numérisation de l'agriculture apporte un avantage en réduisant les coûts des intrants ou en rationalisant les opérations. L'avantage environnemental est souvent un attribut secondaire qui doit être monétisé pour l'agriculteur. Cela s'explique par la nécessité d'une agriculture de précision, d'une prise de décision fondée sur des données et d'une surveillance environnementale en temps réel. Des études montrent que les TAN contribuent à accroître la productivité, à réduire l'impact sur l'environnement et à améliorer la gestion des risques dans l'agriculture (Wolfert et al., 2017 ; Rose et al., 2021). Toutefois, leur mise en œuvre varie considérablement d'une région à l'autre et d'un système agricole à l'autre.

En Ontario, l'évolution numérique de l'agriculture est évidente mais variée. Les grandes exploitations ont intégré des tracteurs guidés par GPS, des drones et des outils de planification basés sur le SIG dans leurs systèmes de production (Cairns & Deaton, 2022). En revanche, de nombreuses petites et moyennes exploitations adoptent les outils numériques de manière plus sélective, non seulement en raison du coût ou des limites de l'infrastructure, mais aussi parce que certains TAD peuvent ne pas correspondre à leur échelle, à leur type de culture ou à leurs modèles de travail (Miller et al., 2023). Par exemple, les petits producteurs de fruits et légumes sur 20 à 30 acres peuvent estimer que le travail manuel est plus rentable que l'investissement dans des systèmes automatisés coûteux.

Alors que les programmes gouvernementaux continuent de promouvoir les innovations en matière d'"agriculture intelligente", des lacunes importantes subsistent en ce qui concerne la distribution, l'utilité et la pertinence contextuelle des DAT. Plus précisément, la dynamique spatiale de l'adoption des TAN et de ses résultats environnementaux en Ontario n'est pas suffisamment explorée, ce qui soulève des inquiétudes quant à l'adéquation entre l'innovation numérique et les divers besoins du paysage agricole de l'Ontario. Pour combler ces lacunes, il faut non seulement davantage de technologies, mais aussi des stratégies non linéaires et adaptées aux régions, qui tiennent compte de l'ensemble des tailles d'exploitation, des systèmes de culture et des modèles de production.

3.2 Tendances clés de l'adoption de l'agriculture numérique

3.2.1 L'essor mondial de l'agriculture de précision

L'intégration des données en temps réel, de l'intelligence artificielle et de l'automatisation transforme l'agriculture à l'échelle mondiale. L'agriculture de précision met l'accent sur la gestion des cultures et des sols fondée sur les données afin de réduire le gaspillage, d'améliorer l'efficacité et d'augmenter les rendements (Gebbers & Adamchuk, 2010). Des pays comme les Pays-Bas et l'Australie sont à l'avant-garde dans ce domaine, avec plus de 70 % des exploitations agricoles utilisant des outils tels que la cartographie de précision des sols et des systèmes d'irrigation automatisés (FAO, 2022). L'Ontario commence à adopter des technologies similaires dans son secteur agricole, en particulier dans les exploitations de grandes cultures, 78 % des exploitations utilisant déjà des systèmes de guidage GPS (Gouvernement du Canada, 2023).

3.2.2 Des obstacles aux facilitateurs : Une perspective politique sur la transition vers l'agriculture numérique en Ontario

Le Canada a manifesté un intérêt croissant pour l'agriculture numérique, notamment par le biais d'initiatives gouvernementales visant à accélérer l'adoption de l'agriculture intelligente. Des programmes tels que le **Partenariat canadien pour une agriculture durable (PCA durable)**, le **Programme des fermes intelligentes** du Centre de recherche et d'innovation Vineland et le **Programme des technologies agricoles propres d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC)** témoignent d'un investissement national important dans l'agriculture durable et axée sur la technologie. Ces initiatives financent l'innovation, la durabilité environnementale et les outils d'agriculture de précision.

Cependant, malgré ces efforts, l'adoption des technologies agricoles numériques (TAN) reste inégale selon les régions, en particulier en Ontario, en raison de plusieurs obstacles persistants :

- **Coût élevé de l'adoption** : De nombreux TAN, tels que les tracteurs guidés par GPS, les applicateurs à taux variable et les véhicules aériens sans pilote (UAV), exigent un capital initial important. Cela les met souvent hors de portée des petits et moyens producteurs, qui peuvent trouver un retour sur investissement limité pour les opérations sur de petites surfaces (Miller et al., 2023).
- **Déficits d'infrastructure et de connectivité** : Dans les zones rurales de l'Ontario, la couverture à large bande et cellulaire reste irrégulière, ce qui limite la transmission de données en temps réel, la surveillance automatisée et les systèmes d'aide à la décision basés sur le cloud (Beck et al., 2021). Cette déconnexion entrave le déploiement complet des technologies de précision et des plateformes numériques.
- **Lacunes en matière de connaissances et de compétences** : de nombreux agriculteurs n'ont pas les connaissances numériques et la formation adaptées nécessaires pour intégrer efficacement les TAN dans leurs activités. Par exemple, l'absence de services de vulgarisation spécifiques aux régions entrave encore davantage l'application pratique (Rose et al., 2021).

Malgré ces obstacles, l'Ontario occupe une position stratégique pour mener à bien la transition de l'agriculture numérique du pays. Pour libérer ce potentiel, la politique doit passer d'un investissement généralisé à des mesures ciblées et adaptées aux régions. Il peut s'agir de **subventions de partage des coûts pour les petites exploitations**, de **l'expansion de la large bande en milieu rural grâce au Programme accéléré d'accès à Internet à haut débit (PAHI) de l'Ontario**, et de **programmes de formation améliorés dans le cadre de l'initiative "Agri-Food Open for E-Business"**.

En alignant les infrastructures, les incitations et le développement des capacités humaines, l'Ontario peut transformer les contraintes structurelles en catalyseurs, en positionnant son secteur agricole pour qu'il soit à la fois résistant au climat et compétitif à l'échelle mondiale.

3.3 Considérations institutionnelles et de gouvernance relatives à l'agriculture numérique

Les institutions et les structures de gouvernance jouent un rôle crucial dans l'adoption de l'agriculture numérique. Un soutien institutionnel fort peut **combler le fossé entre la recherche, la politique et l'adoption par les agriculteurs**. Toutefois, un **paysage politique fragmenté** conduit souvent à des **réglementations incohérentes, à des déficits de financement et à un manque de coordination entre les parties prenantes** (Baur & Roo, 2020).

Les principaux défis en matière de gouvernance dans le domaine de l'agriculture numérique sont les suivants :

1. **La fragmentation des politiques** : Le chevauchement des compétences entre les **gouvernements fédéral, provinciaux et locaux** se traduit par des politiques incohérentes en matière de TAN. L'incohérence du soutien aux technologies agricoles numériques (TAN) résulte du chevauchement des mandats et du manque de coordination entre les gouvernements fédéral, provinciaux et municipaux. Par exemple, alors qu'Agriculture et Agroalimentaire Canada finance des programmes d'innovation nationaux, des initiatives provinciales comme le programme d'innovation agro-technologique de l'Ontario fonctionnent avec des critères d'éligibilité et des priorités différents. Ce décalage peut semer la confusion chez les agriculteurs et limiter l'efficacité des mesures d'incitation à l'adoption du TAN au niveau de l'exploitation.
2. **Incertitude réglementaire** : Les agriculteurs de l'Ontario sont confrontés à des préoccupations persistantes concernant la propriété des données, la protection de la vie privée et l'utilisation éthique des algorithmes intégrés dans les TAN. L'absence de normes provinciales ou nationales claires en matière de gouvernance des données agricoles, notamment en ce qui concerne la propriété des données de rendement collectées par les systèmes GPS ou la manière dont sont générées les recommandations pilotées par l'IA, suscite des hésitations quant à leur adoption (Bronson & Knezevic, 2016 ; Ruder, 2023). En l'absence de cadres juridiques pour traiter des droits de propriété intellectuelle ou de la transparence

algorithmique, en particulier pour les petites exploitations agricoles indépendantes, la confiance dans les outils numériques reste faible (Rotz et al., 2019).

3. **Un engagement limité des parties prenantes** : En Ontario, l'innovation dans le domaine de l'agriculture numérique est entravée par une faible coordination entre les parties prenantes essentielles - agriculteurs, développeurs de technologies agricoles, chercheurs et décideurs. Ces groupes travaillent souvent en vase clos, ce qui entraîne une inadéquation entre la conception technologique et les besoins réels des exploitations agricoles (Cairns & Deaton, 2022 ; Miller et al., 2023). L'absence de programmes pilotes conçus en commun ou de plateformes agro-numériques régionales réduit le potentiel d'innovations évolutives et adaptées au contexte, en particulier pour les petites et moyennes exploitations qui sont soumises à des contraintes économiques et logistiques différentes de celles des grandes entreprises (Lemay et al., 2022).

L'Ontario doit élaborer **une approche politique coordonnée qui intègre l'agriculture numérique aux stratégies d'adaptation au climat, de conservation et de développement rural**. Le renforcement des capacités institutionnelles, **l'amélioration des mécanismes de gouvernance et la promotion de partenariats multipartites** seront essentiels pour libérer tout le potentiel des TAN.

3.4 Implications politiques et lacunes de la recherche

Bien que l'agriculture numérique soit prometteuse, il reste des lacunes importantes dans la compréhension de **son impact sur la résilience climatique et l'adoption équitable en Ontario**. Les politiques futures doivent tenir compte des éléments suivants :

- **L'empreinte environnementale des TANT** : Comment les outils numériques influencent-ils la **santé des sols, l'efficacité de l'utilisation de l'eau et les émissions de carbone** ?
- **La fracture numérique dans l'agriculture** : Quelles politiques peuvent combler le **fossé d'accès entre les grandes entreprises agroalimentaires et les petits exploitants agricoles** ?
- **L'extensibilité des initiatives de TAN** : Comment les politiques peuvent-elles soutenir **une adoption généralisée sans exacerber les inégalités socio-économiques** ?

"Les technologies agricoles numériques ont permis d'augmenter le rendement des cultures jusqu'à 20 % dans les exploitations agricoles de l'Ontario pour la saison de croissance 2024." À l'aube de 2024, le paysage agricole du Canada, et en particulier de l'Ontario, connaît une transformation remarquable.

- Farmonaute, 2024

4. La méthodologie

Ce document d'orientation adopte une approche mixte fondée sur l'objectif de renforcer les systèmes de production alimentaire de l'Ontario tout en favorisant les objectifs de lutte contre le changement climatique. L'étude démontre comment les connaissances scientifiques peuvent éclairer une prise de décision agricole plus intelligente et mieux adaptée aux régions en intégrant la cartographie géospatiale, l'évaluation des politiques et l'analyse institutionnelle. La recherche s'articule autour de trois éléments principaux :

1. Examen des politiques et des institutions

Une analyse documentaire est adoptée à partir des politiques provinciales et fédérales existantes afin d'identifier les obstacles structurels et les conditions favorables à l'adoption des technologies agricoles numériques (TAN). Il s'agit notamment d'examiner comment les cadres réglementaires, les programmes de financement et les mandats institutionnels s'alignent - ou se désalignent - sur les réalités des divers systèmes agricoles de l'Ontario.

2. Perspectives des agriculteurs via l'enquête de l'OFA

En collaboration avec la Fédération de l'agriculture de l'Ontario (OFA), nous avons mené une enquête en ligne auprès d'un échantillon diversifié d'agriculteurs ontariens. Cette enquête permet de saisir les réalités du terrain - la façon dont les agriculteurs perçoivent les TAN, leur capacité à les utiliser efficacement et la manière dont leur adoption influe sur la résilience climatique et les décisions prises dans leurs exploitations.

3. Cartographie spatiale de l'analyse de l'utilisation des TAN

À l'aide d'une analyse géospatiale, nous cartographions où et comment les TAN (par exemple, l'agriculture de précision, les systèmes GPS) sont utilisés dans les zones agricoles de l'Ontario. Cela nous permet d'évaluer si ces technologies contribuent à des améliorations mesurables en matière de réduction des émissions, de santé des sols et de protection de la qualité de l'eau - des paramètres de performance clés liés à l'adaptation au climat.

4. Analyse comparative

Nous évaluons comment les stratégies d'agriculture numérique de l'Ontario se comparent aux exemples mondiaux - tels que les Pays-Bas, l'Australie et les États-Unis - qui ont intégré efficacement les TAN pour augmenter les rendements tout en réduisant les émissions. En analysant leurs modèles réglementaires, leurs structures d'incitation et leurs cadres de partage des données, nous identifions des leçons exploitables que l'Ontario peut adapter pour améliorer l'adoption des technologies, les résultats environnementaux et la cohérence des politiques.

4.1 Analyse politique et institutionnelle :

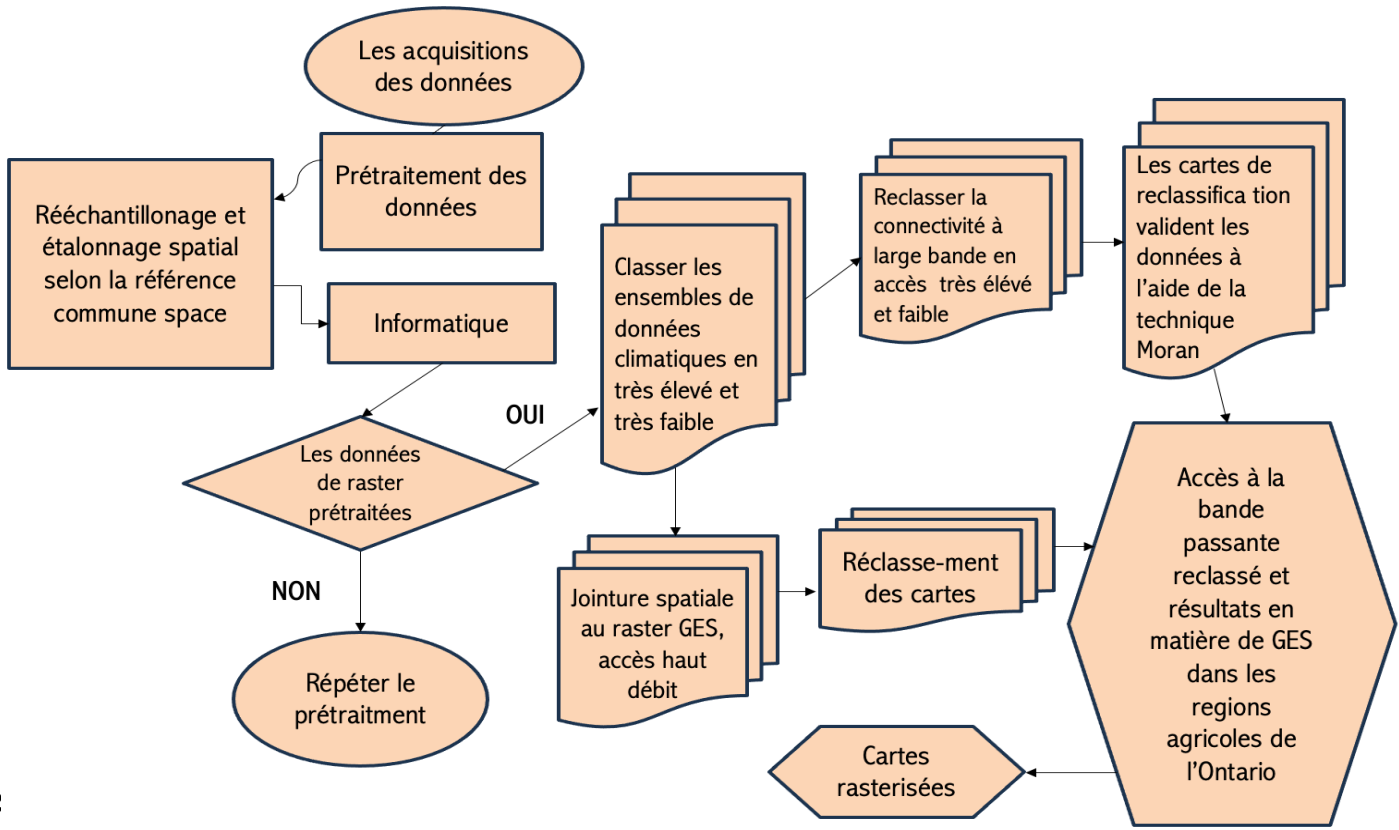
Tableau 4.1 . Tableau d'analyse des documents

Documents	Sources d'information	Nombre (N= 32)
Documents gouvernementaux et politiques : - Base de données ouverte du gouvernement du Canada - Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) - Politiques et stratégies : Politique alimentaire du Canada, Stratégie pour l'agriculture durable - Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales de l'Ontario (OMAFRA) - Programmes et initiatives : Stratégie agroalimentaire numérique de l'Ontario	AAC, MAAARO, publications du gouvernement du Canada : Termes de recherche : "Digital Agriculture Ontario", "Precision Farming Policy", "Agricultural Innovation and Climate Change" (innovation agricole et changement climatique)	12
Recherche universitaire et scientifique	Scopus :	8

	Termes de recherche : "Digital Agriculture Ontario", "Precision Farming Policy", "Agricultural Innovation and Climate Change" (innovation agricole et changement climatique)	
Rapports de l'industrie et littérature grise : - Conseil et étude de marché - Réseaux d'agriculteurs et groupes de pression	McKinsey, Deloitte, RBC Fédération de l'agriculture de l'Ontario (OFA), Farmers Forum, Fédération canadienne de l'agriculture (CFA) et Grains Farmers of Ontario (GFO).	4
Benchmarks mondiaux (à des fins de comparaison) : - FAO : Cadre SAFA et évaluations des politiques - Union européenne et USDA : Initiatives en matière d'agriculture numérique à des fins d'étalonnage	Rapports de l'ONU Rapports de l'UE	2

1.1. Analyse spatiale

Figure 2



4.2 Aperçu de la collecte de données

Type de données et variables	Source	Description	Pertinence
Imagerie satellitaire classifiée des cultures en Ontario	Agriculture et Agroalimentaire Canada	Contient tous les rendements des cultures en Ontario pour 2016 et 2021	Aide à l'évaluation des résultats écologiques pour les champs cultivés

<i>Attitudes des agriculteurs, utilisation du TAN et obstacles perçus</i>	Enquête en ligne menée par la Fédération de l'agriculture de l'Ontario (OFA)	Collecte de données au niveau des agriculteurs sur l'utilisation des outils numériques, le comportement décisionnel, les obstacles à l'adoption, le climat perçu et les résultats.	Fournit des informations de base sur la manière dont les TAN sont utilisés, leur efficacité et les structures de soutien dont les agriculteurs ont besoin pour une innovation intelligente face au climat.
<i>Connectivité à large bande</i>	CRTC	Connectivité à large bande mesurée en pixels/mpbs	Utilisé comme proxy pour définir et délimiter les zones d'adoption du TAN.
<i>Émissions de gaz à effet de serre (GES)</i>	Données ouvertes du gouvernement du Canada, AAC	Données sur les émissions de gaz à effet de serre en 2016 et 2021, mesurées dans les catégories "très élevé" à "faible".	Utilisé comme indicateur pour évaluer les résultats environnementaux de l'adoption des TAN.

5. Les résultats

5.1 Lacunes politiques et institutionnelles dans la gouvernance de l'agriculture numérique

Tableau 5.1.

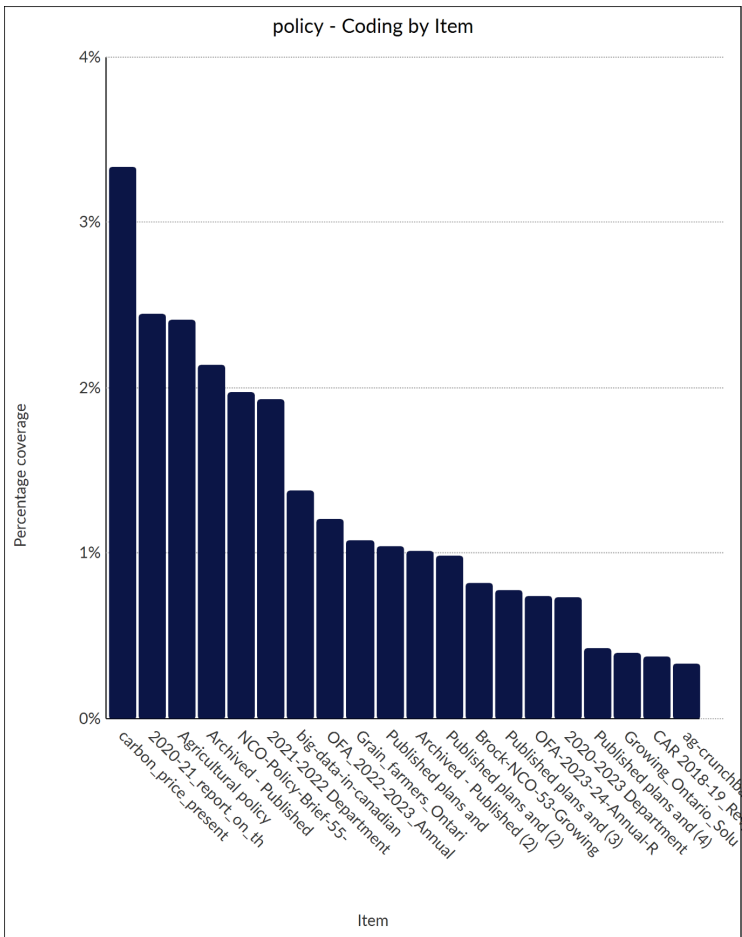
	Haut	Moyen	Total
Document	Politique	Rapport	Rapport
Plan ministériel 2016-22 d'AAC		1	1
Rapport annuel de l'Institut de recherche agricole de l'Ontario (ARIO)		10	10
Politique alimentaire du Canada	1		1
Accord OMAFRA-U of G Rapport annuel 2021/24		2	2
Rapport annuel de l'accord OMAFRA-U of G 2021/25		1	1
Rapport annuel de l'accord OMAFRA-U of G 2021/26		1	1
Rapport annuel de l'accord OMAFRA-U of G 2021/27		1	1
Rapport annuel de la Fédération de l'agriculture de l'Ontario		2	2
Plans et rapports annuels publiés		9	9
Politique permanente	1		1

Stratégie pour l'agriculture durable	1			1
Partenariat canadien pour une agriculture durable_ (PAC durable)	1			1
Total général	4	17	10	31

Un examen des politiques agricoles et des cadres institutionnels de l'Ontario a permis d'identifier plusieurs obstacles à l'adoption du TAN :

1. **Fragmentation des politiques :**
 - Il n'existe **pas de stratégie unifiée en matière d'agriculture numérique** qui aligne l'adoption des technologies sur les objectifs de lutte contre le changement climatique.
 - Le chevauchement des mandats entre les **gouvernements fédéral et provinciaux** conduit à des programmes de soutien incohérents.
2. **Obstacles financiers :**
 - Les mécanismes de financement actuels soutiennent principalement les **grandes entreprises agroalimentaires**, ce qui désavantage les petites et moyennes exploitations agricoles.
 - **Des incitations limitées** pour l'adoption des TAN dans les régions sensibles.
3. **Contraintes de capacité :**
 - **Nombre limité de programmes de formation** pour les agriculteurs sur l'agriculture de précision et les outils basés sur les SIG.
 - **Faiblesse des services de vulgarisation** pour soutenir le transfert de connaissances des instituts de recherche vers les agriculteurs.
4. **Préoccupations en matière de données et de protection de la vie privée :**
 - Les agriculteurs se montrent réticents à adopter les TAN en raison de l'incertitude concernant la propriété des données et les cadres réglementaires.
 - L'absence de politiques claires sur la gouvernance des données au niveau de l'exploitation limite la confiance dans les plateformes numériques.

Figure 3



5.2 Comparaison : L'Ontario par rapport aux principales juridictions mondiales

Une analyse comparative des politiques de l'Ontario en matière d'agriculture numérique avec celles des Pays-Bas, de l'Australie et de certains États américains révèle ce qui suit :

- L'Ontario est à la traîne en ce qui concerne la coordination des stratégies d'agriculture numérique, tandis que les Pays-Bas disposent d'un cadre politique spécifique intégrant l'agriculture de précision aux objectifs de durabilité.
- Les incitations financières à l'adoption du TAN en Ontario sont fragmentées, tandis que l'Australie fournit des subventions ciblées pour garantir un accès équitable.
- L'Ontario compte comparativement moins de partenariats public-privé structurés axés sur l'adoption de l'agriculture numérique que plusieurs États américains, où les universités d'octroi de terres collaborent activement avec des intervenants du secteur privé pour stimuler l'innovation en matière de TAN et l'adoption par les agriculteurs (Schimmelpfennig, 2016 ; USDA, 2021). Cette coordination limitée en Ontario entrave la diffusion de technologies spécifiques au contexte et de systèmes de soutien pratiques pour les agriculteurs.

5.3 Profils spatiaux des TAN et des effets du changement climatique en Ontario

Figure 4

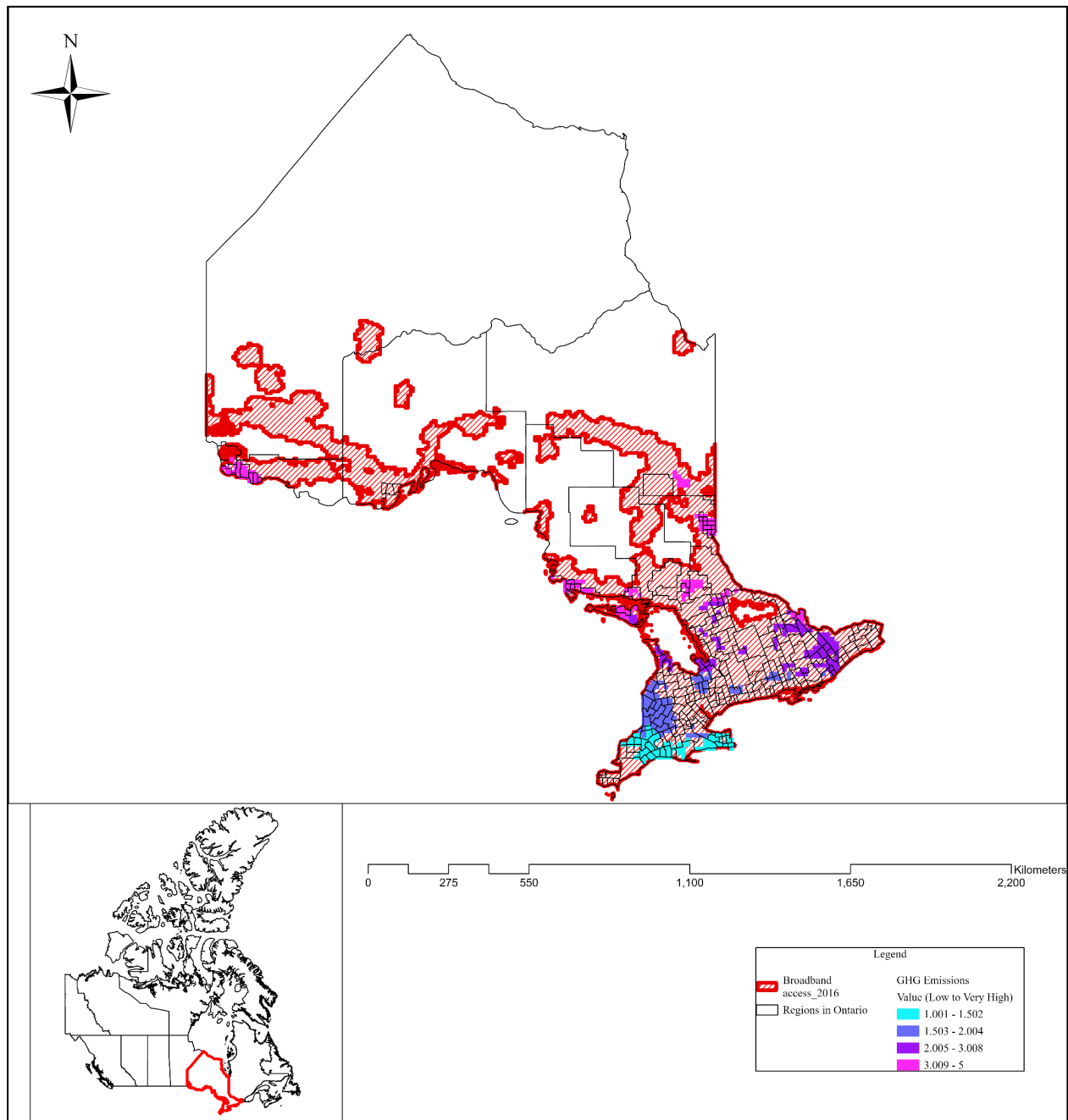


Figure 4: Analyse en grappes classées de l'adoption de TAN et des résultats en matière de GES en Ontario à l'aide de l'indice de grappes spatiales de Moran

Source : CRTC, 2016 ; AAC, 2016

Figure 5

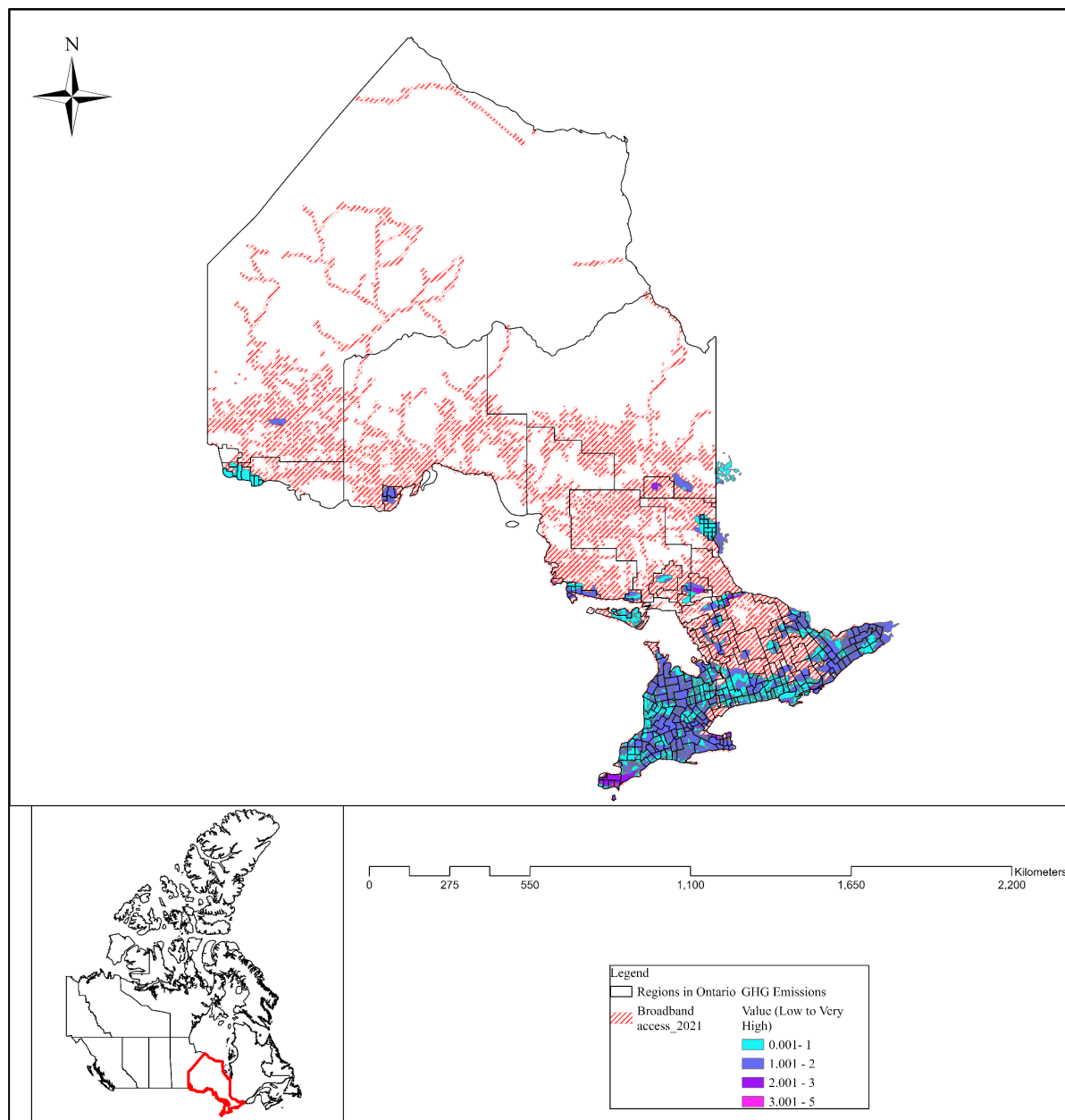


Figure 5: Analyse en grappes classées de l'adoption de TAN et des résultats en matière de GES en Ontario à l'aide de l'indice de grappes spatiales de Moran

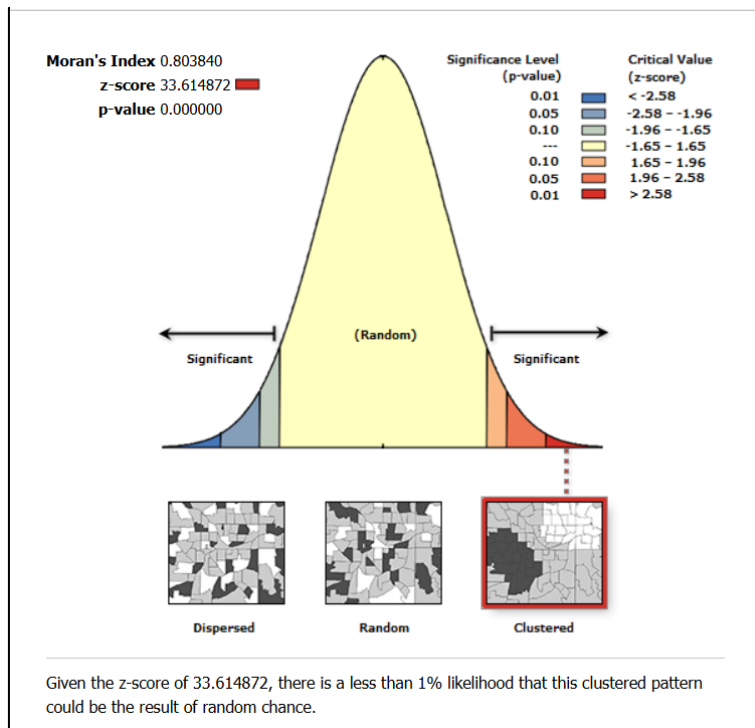
Source : CRTC, 2022 ; AAC, 2022

Entre 2016 et 2021, l'adoption des technologies agricoles numériques (TAN) en Ontario s'est accélérée notamment dans les régions du sud, mais est restée limitée dans le nord, mettant en évidence une fracture spatiale croissante dans l'intégration technologique à travers la province. Cette analyse s'appuie sur des données relatives aux terres cultivées classées par satellite et sur la connectivité à large bande (utilisée comme indicateur de l'état de préparation au numérique) pour saisir les changements temporels et géographiques dans l'adoption des TAN. La période de cinq ans correspond aux principales mises à niveau des infrastructures et aux interventions politiques visant à promouvoir les outils d'agriculture de précision tels que les machines guidées par GPS, la surveillance des champs par drone et la gestion agricole basée sur le SIG. En comparant ces deux périodes, l'analyse identifie non seulement les endroits où l'agriculture numérique gagne du terrain, mais aussi ceux où elle stagne, ce qui met en lumière les disparités sous-jacentes en matière d'accès, d'infrastructures et de conditions favorables. Ces schémas

spatiaux ont des implications importantes pour la performance environnementale, révélant comment et où les DAT peuvent entraîner des améliorations dans l'efficacité de l'utilisation des intrants, la réduction des émissions et la gestion de la santé des sols.

Une analyse en grappes classées utilisant l'**indice de grappes spatiales de Moran** a été réalisée pour évaluer la relation spatiale entre l'adoption du TAN et les résultats en matière de GES dans les régions agricoles de l'Ontario.

Figure 6

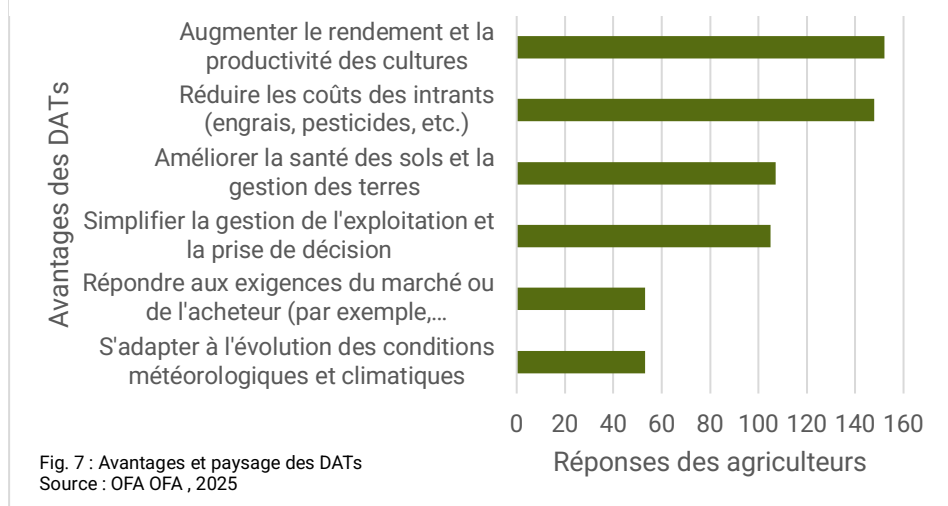


L'analyse révèle notamment que les zones à forte adoption de TAN - concentrées principalement dans le sud de l'Ontario - sont associées à des émissions plus faibles (voir les figures 4 et 5). Cette réduction est en grande partie due à des pratiques telles que l'application d'engrais de précision, la réduction du travail du sol et l'utilisation de machines guidées par GPS. Ces résultats offrent une opportunité prometteuse pour la politique climatique de l'Ontario : l'intégration des TAN produit déjà des avantages environnementaux mesurables et peut servir de modèle évolutif pour une agriculture intelligente face au climat.

En revanche, les régions où les taux d'adoption sont faibles - en particulier dans le nord et l'est de l'Ontario - continuent d'afficher des émissions plus élevées en raison de la dépendance à l'égard des méthodes conventionnelles, y compris les intrants chimiques excessifs et les pratiques inefficaces d'utilisation des terres. Ces disparités spatiales soulignent l'importance de stratégies ciblées et spécifiques à chaque région pour accroître l'adoption du TAN. L'encouragement d'outils tels que la surveillance des cultures par drone et la planification par SIG, ainsi que l'établissement d'un

lien entre les réductions d'émissions liées à l'utilisation de TAN et les marchés de crédits carbone, peuvent accélérer l'adoption de cette technologie tout en alignant le secteur agricole de l'Ontario sur ses objectifs climatiques plus larges.

Figure 7

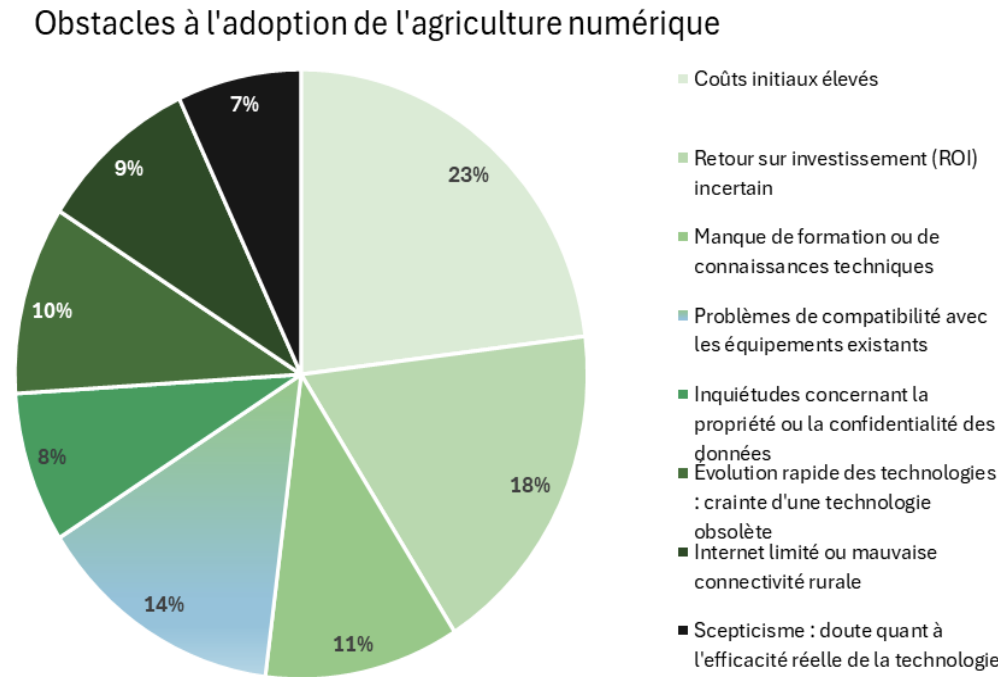


5.3 Perception des agriculteurs quant à l'adoption de l'agriculture numérique en Ontario

Le graphique illustre les avantages perçus des TAN par les agriculteurs de l'Ontario, sur la base de réponses à des enquêtes non publiées. Les avantages les plus fréquemment cités sont l'augmentation du rendement et de la productivité des cultures, ainsi que la réduction des coûts des intrants tels que les engrais et les pesticides, qui ont tous deux fait l'objet de plus de 150 réponses. Ces résultats correspondent aux

objectifs plus larges de l'agriculture de précision, qui met l'accent sur l'efficacité et l'optimisation des ressources. Notamment, plus de 100 répondants ont également identifié des améliorations dans la santé des sols, la gestion des terres et les processus de prise de décision comme des avantages clés, ce qui reflète une reconnaissance croissante du rôle des TAN dans le soutien des pratiques agricoles durables et éclairées. Bien que moins de répondants aient mentionné la satisfaction des exigences du marché (par exemple, la traçabilité, la durabilité) et l'adaptation à la variabilité du climat, leur inclusion indique que les résultats environnementaux et alignés sur le marché font de plus en plus partie de l'histoire de la transition numérique. Dans l'ensemble, ces données suggèrent que les agriculteurs de l'Ontario apprécient principalement les TAN pour leurs avantages économiques et opérationnels, mais qu'il est encore possible de renforcer la sensibilisation à leurs capacités environnementales et d'amélioration de la résilience, en particulier face au changement climatique.

Figure 8

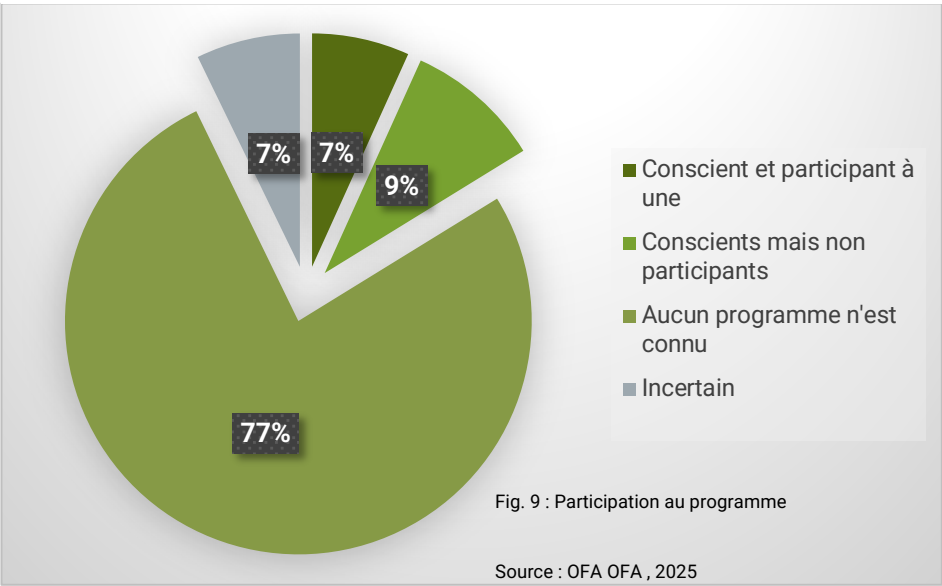


inquiétudes concernant le manque de clarté du retour sur investissement (18 %) et le manque de formation ou de connaissances techniques (14 %) entravent également l'adoption, soulignant la nécessité de programmes de soutien ciblés, y compris des modèles de partage des coûts, des formations et des services de vulgarisation. L'accès limité à Internet ou la mauvaise connectivité rurale (8 %) reflètent également une lacune infrastructurelle importante qui doit être comblée pour libérer le plein potentiel des DAT dans l'amélioration de la résilience climatique à la ferme. Alors que le secteur agricole de l'Ontario intègre de plus en plus d'outils axés sur les données pour gérer les conditions météorologiques extrêmes, optimiser les intrants et surveiller l'impact sur l'environnement, il est essentiel de surmonter ces obstacles. En s'attaquant à ces contraintes par le biais d'une politique coordonnée, d'investissements et de l'engagement des parties prenantes, l'agriculture numérique contribuera efficacement aux objectifs plus larges de la province en matière d'action climatique et de durabilité du système alimentaire.

Obstacles à l'adoption des TAN en Ontario

Le diagramme circulaire révèle les principaux obstacles auxquels les agriculteurs de l'Ontario sont confrontés lorsqu'ils adoptent des technologies agricoles numériques (TAN), ce qui affecte la capacité de la province à mettre en place des systèmes agricoles résistants au climat. La contrainte la plus citée - les coûts initiaux élevés (23 %) - met en évidence un obstacle financier majeur qui limite l'accès aux technologies capables de réduire les émissions et d'améliorer l'adaptation, comme l'irrigation de précision ou les machines guidées par GPS. Les

Figure 9



Le diagramme circulaire (Fig. 9) révèle une lacune critique en matière de communication et de sensibilisation dans la transformation de l'agriculture numérique de l'Ontario : 77 % des agriculteurs interrogés ne sont au courant d'aucun programme lié aux technologies agricoles numériques (TAN), tandis que seulement 9 % sont au courant mais n'ont pas participé, et qu'à peine 7 % sont à la fois au courant et ont une expérience de ces programmes. Ce manque de sensibilisation constitue un obstacle important à l'utilisation des TAN pour la résilience climatique, en particulier dans les régions où l'adoption de ces technologies pourrait jouer un rôle essentiel dans la réduction des

émissions et l'amélioration de la capacité d'adaptation. En l'absence d'interventions politiques ciblées, telles que des projets pilotes de TAN bien annoncés, des fermes de démonstration communautaires ou des campagnes d'information sur les TAN spécifiques à une région, le potentiel de transformation des outils numériques pour améliorer la santé des sols, réduire l'utilisation d'intrants et s'adapter aux changements climatiques demeurera inexploité. Il est essentiel de combler ce déficit de sensibilisation pour créer des systèmes agroalimentaires inclusifs et résistants au changement climatique en Ontario et pour atteindre des objectifs plus larges en matière de politique environnementale.

5.4 Principales conclusions

Avec une couverture à large bande d'environ 98 %, l'Ontario a investi plus de 3,5 millions de dollars dans l'infrastructure à large bande dans les zones urbaines et rurales. (Gouvernement du Canada, 2024). Par conséquent, l'accessibilité à la large bande a été utilisée comme indicateur de l'adoption des TAN, car il s'agit d'un service nécessaire pour faciliter l'exploitation et l'adoption des TAN (Hambly, 2016).

- **Zones de forte adoption** : Principalement situées dans le **sud et le centre de l'Ontario**, les grandes entreprises agroalimentaires ont accès au capital, à l'infrastructure et aux programmes de littératie numérique. Ces régions présentent les caractéristiques suivantes
 - L'utilisation généralisée d'**outils d'agriculture de précision guidés par GPS**.
 - Intégration des **drones pour la surveillance des cultures**.
 - **Systèmes de gestion agricole basés sur les SIG** pour faciliter la prise de décision.
- **Zones de faible adoption** : Concentrées dans le **nord et l'est de l'Ontario**, où :
 - Les petites exploitations **manquent de ressources financières** pour les investissements numériques.
 - L'offre **limitée de large bande en milieu rural** restreint l'utilisation des données en temps réel.
 - **Le scepticisme et le manque de connaissances numériques** entravent l'adoption de ces technologies.
- **Implications environnementales** :
 - Les régions où **l'adoption de TAN est plus importante présentent une meilleure efficacité des ressources** (par exemple, irrigation de précision et réduction de la surconsommation d'engrais).
 - **Les zones à faible taux d'adoption présentent des risques plus élevés de dégradation des sols** en raison des pratiques agricoles conventionnelles.

Les résultats soulignent la nécessité d'une réponse politique structurée pour renforcer le rôle de l'agriculture numérique dans la résilience climatique. Les principaux enseignements sont les suivants :

Il faut s'attaquer à la fracture numérique : Un soutien ciblé est nécessaire pour les petits exploitants agricoles et les régions à faible taux d'adoption afin d'éviter que le fossé ne se creuse en matière d'accès aux technologies.

- **Une coordination institutionnelle plus forte est nécessaire :** Un cadre stratégique dédié à l'agriculture numérique devrait aligner les efforts fédéraux et provinciaux.
- **Le renforcement des capacités est essentiel :** les investissements dans les programmes de formation, les services de vulgarisation et les partenariats entre la recherche et les agriculteurs sont essentiels pour maximiser les avantages du TAD.
- **Un cadre de gouvernance des données est nécessaire :** Des politiques claires sur la confidentialité, la propriété et la sécurité des données au niveau de l'exploitation doivent être élaborées pour instaurer la confiance dans l'agriculture numérique.

Sensibilisation et participation à la politique

- Une grande majorité des agriculteurs de l'Ontario (77 %) ne sont pas au courant des programmes existants qui soutiennent les technologies agricoles numériques (TAN) pour la résilience climatique, ce qui indique une importante lacune en matière de communication et de sensibilisation.
- Seuls 9 % des agriculteurs ont déclaré être au courant de l'existence de ces programmes mais n'y avoir pas participé, ce qui laisse supposer l'existence d'obstacles autres que la sensibilisation, tels que la confiance, l'accès ou la pertinence perçue.
- Seuls 7 % des répondants étaient à la fois conscients des programmes liés au TAN et y participaient activement, ce qui met en évidence la faiblesse critique des taux d'engagement dans les initiatives politiques disponibles.
- Par ailleurs, 7 % des personnes interrogées n'étaient pas sûres de l'existence de programmes pertinents, ce qui souligne la nécessité d'une diffusion plus claire et plus accessible de l'information par les décideurs politiques et les responsables de la mise en œuvre des programmes.

6. Implications politiques

6.1 Comblent le fossé numérique dans l'agriculture ontarienne

L'analyse spatiale a révélé un accès inégal aux TAN, les grandes entreprises agroalimentaires des régions à fort taux d'adoption bénéficiant d'avantages considérables, tandis que les petites et moyennes exploitations agricoles des régions rurales et du nord de l'Ontario sont confrontées à des obstacles persistants en matière d'adoption. Il est essentiel de combler ce fossé pour construire une résilience équitable, en veillant à ce que tous les producteurs puissent exploiter les outils numériques pour s'adapter au changement climatique et contribuer à des systèmes alimentaires durables.

Actions politiques :

- **Accroître les investissements dans l'infrastructure numérique :** Améliorer la connectivité rurale à large bande (non seulement l'accès mais aussi la vitesse) pour permettre l'utilisation de données en temps réel dans l'agriculture de précision.
- **Introduire des incitations financières ciblées pour les petites exploitations :** Développer des subventions, des crédits d'impôt ou des programmes de partage des coûts adaptés aux réalités économiques uniques des petites et moyennes exploitations. Ces mesures devraient viser à compenser les coûts initiaux liés à l'adoption de TAD adaptés au contexte, afin de garantir que l'adoption de la technologie soit économiquement viable là où elle se justifie.

- **Soutenir les modèles technologiques coopératifs** : Promouvoir les services numériques partagés, tels que les programmes coopératifs de surveillance par drone et les systèmes régionaux de gestion agricole basés sur le SIG, afin de réduire les coûts d'entrée.

6.2 Renforcement de la coordination gouvernementale et de l'alignement des politiques

L'Ontario fonctionne dans un système fédéral où l'agriculture est une compétence partagée entre les gouvernements provinciaux et fédéral, ce qui conduit souvent à des programmes à coûts partagés et à une double surveillance. Bien que ce modèle de gouvernance reflète la structure constitutionnelle du Canada, il peut entraîner une mise en œuvre fragmentée en ce qui concerne les technologies agricoles numériques (TAN). L'absence d'une stratégie coordonnée en matière d'agriculture numérique, malgré le chevauchement des responsabilités, a contribué à des lacunes réglementaires, à des programmes de soutien inégaux et à des mécanismes de financement incohérents. Contrairement aux environnements politiques plus unifiés de pays tels que les Pays-Bas ou l'Australie, l'approche de l'Ontario manque de la cohérence intégrative nécessaire pour aligner les investissements dans les TAN sur les résultats en matière de climat et de durabilité au niveau provincial.

Actions politiques :

- **Élaborer un cadre stratégique pour l'agriculture numérique** : L'harmonisation des efforts fédéraux et provinciaux par le biais d'un cadre politique unifié pourrait fournir une feuille de route claire et stratégique pour accélérer l'adoption des technologies agricoles numériques (TAN) dans l'ensemble de l'Ontario, en garantissant l'alignement, l'efficacité et l'impact à long terme. Il est possible d'en faire une priorité dans le prochain accord fédéral-provincial-territorial de 2028 qui approche cette année.
- **Mettre en place un groupe de travail interagences sur l'agriculture numérique** : Promouvoir une action coordonnée entre les décideurs politiques, les institutions de recherche, les organisations d'agriculteurs et un large éventail d'entreprises agro-technologiques - y compris les fabricants d'équipement tels que John Deere et AGCO, les fournisseurs de technologies de précision tels que Trimble et Raven Industries, et les startups agro-numériques développant des plateformes logicielles pour la gestion agricole, la télédétection et la traçabilité de la chaîne d'approvisionnement. Ce groupe de travail soutiendrait la collaboration intersectorielle, alignerait l'innovation sur les besoins sur le terrain et éclairerait les politiques d'agriculture numérique de l'Ontario fondées sur des données probantes.
- **Créer des instruments politiques spécifiques à chaque région** : Adapter les politiques aux conditions agricoles et écologiques locales, en veillant à ce que l'adoption du TAN soit conforme aux objectifs de durabilité.

6.3 Renforcement des capacités et transfert de connaissances

L'étude a révélé que des programmes de formation limités pour les agriculteurs et des services de vulgarisation manquant de ressources contribuent à une faible culture numérique et à une confiance inégale dans les solutions agricoles basées sur la technologie. Si la faiblesse des services de vulgarisation constitue un obstacle majeur, l'adoption est également déterminée par des facteurs individuels tels que le retour sur investissement des agriculteurs, leur tolérance au risque, leur niveau de revenu et leurs préférences opérationnelles. Par rapport à des régions comme le Midwest américain, où de solides réseaux de vulgarisation ont accéléré l'adoption des technologies agricoles numériques (TAN), l'Ontario risque d'être à la traîne en matière d'intégration numérique. Le renforcement des services de vulgarisation et des formations ciblées ne se limite pas à l'amélioration des taux d'adoption ; il s'agit d'un investissement stratégique dans la compétitivité agricole à long terme de l'Ontario et dans sa capacité à s'adapter aux pressions du climat et du marché.

Actions politiques :

- **Développer les programmes d'éducation et de formation des agriculteurs** : Développer des programmes d'alphabétisation numérique adaptés aux agriculteurs, en mettant l'accent sur l'agriculture de précision, l'utilisation de drones et les applications SIG.

- **Renforcer les services de vulgarisation** : Intégrer les services consultatifs en matière d'agriculture numérique dans le cadre actuel de vulgarisation agricole de l'Ontario.
- **Renforcer les partenariats entre la recherche et les agriculteurs** : Augmenter le financement des projets de collaboration entre les universités, les centres de recherche et les communautés agricoles afin de faciliter l'innovation sur le terrain.

6.4 Mise en place d'un cadre solide de gouvernance des données

Les agriculteurs s'inquiètent de la confidentialité, de la propriété et de la sécurité des données, ce qui entrave la confiance dans les plateformes numériques. L'absence de lignes directrices réglementaires claires sur la gestion des données au niveau de l'exploitation agricole présente des risques, notamment en ce qui concerne l'accès des tiers et le contrôle des données agricoles par les entreprises.

Actions politiques :

- **Élaborer un cadre réglementaire pour la gouvernance des données agricoles** : Établir un cadre réglementaire pour la gouvernance des données agricoles afin d'instaurer la confiance entre les producteurs en définissant clairement la propriété des données, les droits d'utilisation, les protocoles de partage et les normes de cybersécurité. La clarification de ces éléments peut répondre aux préoccupations des agriculteurs concernant l'utilisation abusive des données et favoriser une plus grande confiance dans l'adoption des plateformes d'agriculture numérique.
- **Créer une plateforme de données agricoles en libre accès** : Faciliter le partage transparent des données entre les agences gouvernementales, les agriculteurs et les chercheurs, tout en garantissant la sécurité des données.
- **Rendre obligatoires les pratiques éthiques en matière d'IA dans l'agriculture numérique** : Établir des lignes directrices pour la transparence et l'équité des algorithmes dans les applications d'agriculture de précision.

6.5 Aligner l'agriculture numérique sur les objectifs environnementaux et climatiques

Bien que les TAN offrent des avantages potentiels en termes de durabilité, leur intégration dans les stratégies d'adaptation au climat et de conservation reste limitée. L'Ontario manque de politiques ciblées qui incitent à l'utilisation des TAN pour les services écosystémiques, la séquestration du carbone ou l'agriculture régénérative.

Actions politiques :

- **Introduire des incitations liées à la durabilité pour l'adoption des TAN** : L'Ontario devrait offrir des incitations ciblées, telles que des crédits carbone, des subventions et des écocertifications, aux exploitations agricoles qui adoptent des technologies agricoles numériques (TAN) alignées sur des pratiques intelligentes en matière de climat. Ces incitations basées sur les résultats se sont avérées efficaces pour accélérer l'adoption de technologies durables et récompenser les services écosystémiques (FAO, 2023 ; Rose et al., 2021).
- **Rendre obligatoires les évaluations environnementales pour les investissements en matière de TAN financés par les pouvoirs publics** : Exiger des évaluations de l'impact sur la durabilité pour les projets de TAN soutenus par le gouvernement permettrait de s'assurer que les risques et les avantages pour l'environnement sont évalués en amont. Cela permettrait de répondre aux préoccupations selon lesquelles l'adoption de technologies, sans critères environnementaux clairs, pourrait renforcer des pratiques non durables (Benton et al., 2021).
- **Intégrer les TAN dans la stratégie plus large d'adaptation au climat de l'Ontario** : Les TAN fournissent des données spatiales et agronomiques en temps réel qui peuvent éclairer la planification de l'utilisation des terres, la conservation des sols et la gestion de l'eau. L'intégration de ces outils dans les cadres d'adaptation au climat améliorerait le ciblage des politiques et la résilience de l'ensemble du système (Balasundram et al., 2023 ; Yildirim et al., 2019).

7. Conclusion

Les technologies agricoles numériques (TAN) ont le potentiel de transformer le paysage de la production alimentaire de l'Ontario, en améliorant la résistance au climat et la durabilité de l'agriculture. Cependant, les disparités spatiales, la fragmentation des politiques, les obstacles financiers et la faible coordination institutionnelle continuent de limiter l'efficacité et l'adoption équitable de ces technologies.

Ce document d'orientation a démontré que si les zones à fort taux d'adoption en Ontario bénéficient des TAN, les petits exploitants agricoles et les régions rurales sont confrontés à des contraintes importantes, notamment une infrastructure numérique limitée, des coûts élevés et un faible niveau de culture numérique. L'étude met également en évidence les lacunes en matière de gouvernance, en particulier l'absence d'une stratégie unifiée en matière d'agriculture numérique, qui entrave la coordination entre les décideurs politiques, les instituts de recherche et les acteurs de l'industrie.

Pour s'assurer que les TAN contribuent de manière significative aux objectifs de durabilité et de sécurité alimentaire de l'Ontario, des interventions politiques ciblées sont nécessaires. Il s'agit notamment de

- **Réduire la fracture numérique** en élargissant l'accès à la large bande et en offrant des incitations financières aux petits exploitants agricoles.
- **Renforcer la coordination institutionnelle** grâce à un **cadre stratégique** dédié à l'**agriculture numérique** et à une collaboration interinstitutionnelle.
- **Renforcer les capacités** grâce à la formation des agriculteurs, aux services de vulgarisation et à l'innovation axée sur la recherche.
- **Établir un cadre solide de gouvernance des données** pour répondre aux préoccupations en matière de protection de la vie privée et réglementer l'utilisation des données agricoles.
- **Aligner l'agriculture numérique sur les politiques environnementales** en intégrant les TAN dans les stratégies d'agriculture intelligente et régénératrice.

En mettant en œuvre ces mesures, l'Ontario peut libérer le plein potentiel de l'agriculture numérique, en veillant à ce que la technologie serve d'outil de résilience économique et environnementale. Une approche politique coordonnée, inclusive et tournée vers l'avenir est essentielle pour garantir que les TAN contribuent à un secteur agricole durable, efficace et équitable.

Références

- Abdulai, A.-R. (2022). Une nouvelle révolution verte (GR) ou un ancrage néolibéral dans les systèmes agroalimentaires ? Exploring Narratives Around Digital Agriculture (DA), Food Systems, and Development in Sub-Sahara Africa. *The Journal of Development Studies*, 58 (8), 1588-1604. <https://doi.org/10.1080/00220388.2022.2032673>
- Ahuja, S., Chan, Y. E. et Krishnamurthy, R. (2023). L'innovation responsable avec les plateformes numériques : Cas de l'Inde et du Canada. *Inf. Syst. J.*, 33 (1), 76-129. Scopus. <https://doi.org/10.1111/isj.12378>
- Ainissyifa, H., Wulan, E. R., Muhyiddin, A., & Ramdhani, M. A. (2018). Innovation et diffusion des technologies dans le secteur agricole. In Nandiyanto A.B.D. & Abdullah A.G. (Eds.), IOP Conf.Ser. Mater. Sci. Eng. (Vol. 434, Issue 1). Institute of Physics Publishing
- Balasundram, S. K., Shamshiri, R. R., Sridhara, S. et Rizan, N. (2023). Le rôle de l'agriculture numérique dans l'atténuation du changement climatique et la garantie de la sécurité alimentaire : An Overview. *Sustainability*, 15 (6), 5325. <https://doi.org/10.3390/su15065325>
- Benton, T. G., Bieg, C., Harwatt, H., Pudasaini, R. et Wellesley, L. (2021). Food system impacts perte. UNEP, 2021
- Bronson, K. et Knezevic, I. (2016). Big Data dans l'alimentation et l'agriculture. *Big Data & Society*, 3(1). <https://doi.org/10.1177/2053951716648174>
- Cairns, S. et Deaton, B. J. (2022). Adoption des technologies agricoles numériques en Ontario : Patterns and barriers. *Revue canadienne d'économie agricole*.
- Dibbern, T., Romani, L. A. S., & Massruhá, S. M. F. S. (2024). Principaux moteurs et obstacles à l'adoption des technologies d'agriculture Agriculture. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100459. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100459>
- Rotz, S., Gravely, E., Mosby, I., Duncan, E., Finnis, E., Horgan, M., ... & Fraser, E. (2019). Pâturages automatisés et digital divide : Comment les technologies agricoles façonnent le travail et les communautés rurales. *Journal of Rural Studies*, 68, 112-122.
- Ruder, S.-L. (2023). La gouvernance des données agricoles, la justice en matière de données et la politique des nouvelles technologies agroalimentaires au Canada. Canada. <https://doi.org/10.14288/1.0438037>
- Gouvernement du Canada, Statistique Canada (2023, 9 janvier). *Recensement canadien de l'agriculture de 2021 : L'histoire de la transformation de l'industrie agricole et de la capacité d'adaptation des agriculteurs canadiens. de la transformation de l'industrie agricole et de la capacité d'adaptation des agriculteurs canadiens*. Le Quotidien.
- Gouvernement du Canada.(2024, 27 juin). Agriculture et Agroalimentaire Canada. Vue d'ensemble du secteur agricole et agroalimentaire canadien. <https://agriculture.canada.ca/en/sector/overview>
- Green, A. G., Abdulai, A.-R., Duncan, E., Glaros, A., Campbell, M., Newell, R., Quarshie, P., Kc, K. B., Newman, L., Nost, E., & Fraser, E. D. G. (2021). Examen de la portée de la révolution agricole numérique et des services écosystémiques : Implications pour les politiques et les programmes de recherche canadiens. *FACETTES*, 6, 1955-1985. <https://doi.org/10.1139/facets-2021-0017>
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2014). SAFA (Évaluation de la durabilité des systèmes alimentaires et agricoles) Tool : Manuel de l'utilisateur Version 2.2.40

- FAO. (2023). La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2023 : Révéler le coût réel de l'alimentation pour transformer les systèmes agroalimentaires. agroalimentaire. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Farmonaut. (2025, 23 avril). *L'agriculture numérique stimule les rendements des cultures de l'Ontario en 2024* -. Farmonaut®. <https://farmonaut.com/canada/digital-agriculture-boosts-ontario-crop-yields-in-2024>
- Hambly, H. (2016). Rôle de l'accès Internet à large bande dans l'adoption des applications d'agriculture de précision. rapport préparé pour Agriculture et Agroalimentaire Canada. Université de Guelph
- Hurst, Z. M. et Spiegel, S. (2023). Design thinking for responsible Agriculture 4.0 innovations in rangelands. Rangelands. Scopus.
- Lemay, M. A., Clark, A., Boggs, J. et Conteh, C. (2022). *Obstacles systémiques et moteurs de l'adoption des technologies au Canada : Lessons for Agri-Innovation in Ontario from Stakeholders of Canada's Global Innovation Clusters*.
- Rose, D. C., Wheeler, R., Winter, M., Lobley, M. et Chivers, C.-A. (2021). Agriculture 4.0 : Making it work for people, production, and the planet. *Land Use Policy*, 100 . Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104933>
- Leadership éclairé de RBC (2023) *La prochaine révolution verte : Comment le Canada peut produire plus de nourriture et moins d'émissions moins d'émissions*. (2023, 2 avril). . <https://thoughtleadership.rbc.com>
- Schimmelpfennig, D. (2016). Profits agricoles et adoption de l'agriculture de précision. Département de l'agriculture des États-Unis, Economic Research Service. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=80326>
- Simelton, E. et McCampbell, M. (2021). Les services climatiques numériques pour les agriculteurs encouragent-ils une résilience résiliente ? Identifier les lacunes à travers le cadre de la recherche et de l'innovation responsables responsable. *L'agriculture (Suisse)*
- The Economist (2022, 8 juillet). Le 11e indice de sécurité alimentaire mondiale montre une détérioration de l'environnement alimentaire mondial pour la troisième année, menaçant la sécurité alimentaire. alimentaire mondial pour la troisième année, menaçant la sécurité alimentaire. The Economist Newspaper. Consulté le 27 août, 2024, à partir de <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index>
- Yildirim, T., Bilyea, T. et Buckingham, D. (2019). Croissance propre dans l'agriculture. *L'Institut canadien des politiques agroalimentaires agroalimentaire du Canada*.
- Groupe des Nations unies pour le développement, Plan-cadre des Nations unies pour l'aide au développement (PNUAD) (2014)- Méthodologie d'évaluation des capacités
- Département de l'agriculture des États-Unis (USDA). (2021). USDA Science Blueprint : Une feuille de route pour la science de l'USDA de 2020 à 2025. Office of the Chief Scientist. <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/usda-science-blueprint.pdf>