

ESPACE LIBRE

Transfert des connaissances tacites et explicites de l'agriculture traditionnelle vers l'agriculture moderne contrôlée : le cas d'un exploitant de serres verticales dans un environnement nordique

Myriam Larouche-Tremblay^a, Claudiane Ouellet-Plamondon^b, Stéphane Godbout^c

DOI : <https://doi.org/10.1522/revueot.v34n1.1920>



RÉSUMÉ. L'article explore l'importance du transfert des connaissances tacites et explicites entre les maraîchers traditionnels, les chercheurs et les exploitants de serres intelligentes dans un contexte d'agriculture urbaine en pleine évolution. Face à l'émergence rapide des technologies, il devient essentiel d'utiliser des cartographies du cycle de vie des connaissances pour optimiser les pratiques en serres intelligentes. L'espace limité et le contrôle en temps réel des conditions de culture nécessitent des outils pour organiser et partager efficacement le savoir. L'adaptation des expertises traditionnelles en gestion des sols, en traitement des maladies et en cycles de croissance des plantes à ces environnements contrôlés permet de maximiser la productivité. L'article présente différents modèles de passation des connaissances visant à renforcer les liens entre les serres intelligentes et les institutions de recherche. Ce maillage favorise l'intégration de technologies avancées, dont les capteurs et l'intelligence artificielle, pour développer des systèmes agricoles durables, robustes et adaptés aux réalités climatiques, notamment dans les environnements nordiques.

Mots clés : Serres intelligentes, agriculture urbaine, agriculture traditionnelle, gestions des connaissances, cycle de vie des connaissances, serres verticales.

ABSTRACT. This article explores the importance of transferring both tacit and explicit knowledge between traditional farmers, researchers and smart greenhouse operators within the rapidly evolving context of urban agriculture. Given the rapid pace of technological advancement, the use of knowledge life cycle mapping is essential to optimize practices in smart greenhouses. Limited space and real-time controlled growing conditions require tools to effectively organize and share critical information. Adapting traditional expertise in soil management, plant disease treatment and plant growth cycles to controlled environments maximizes productivity. This article presents various knowledge transfer models that aim to strengthen the connections between smart greenhouses and research institutions. This network promotes the integration of advanced technologies, including sensors and artificial intelligence, to develop sustainable and robust agricultural systems that are adapted to climatic realities, particularly in northern environments.

Key words: smart greenhouses, urban agriculture, traditional agriculture, knowledge management, knowledge life cycle, vertical greenhouses.

^a M. Ing., École de technologie supérieure, Montréal

^b M. Sc., Ph. D., ing., professeure, École de technologie supérieure, Montréal

^c Ph. D., ing. agr., chercheur, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Québec

Introduction

L'intérêt pour une alimentation saine et biologique s'accroît significativement au Québec. Depuis les dernières années, les Québécois se tournent vers de nouvelles options afin de consommer des produits locaux. Selon des données statistiques menées en 2022 par la firme de sondage Segma Recherche, 57 % des répondants consomment des produits bios (QuébecBio, 2022). Cet engouement correspond également à certains facteurs préoccupants de notre société. Dans ce sondage, il est mentionné que 88 % des répondants consomment des aliments biologiques afin de réduire leur empreinte carbone, d'améliorer leur santé ou de consommer des aliments ayant un meilleur goût : « Pour des raisons de prévention en santé et de protection de l'environnement, les consommateurs québécois d'aliments bios en consomment davantage et de façon plus régulière » (QuébecBio, 2022, s. p.).

Ces tendances se font également ressentir du point de vue des nouvelles techniques de production et de culture. En effet, l'établissement de la première ferme verticale moderne en 2010, soit 12 ans avant le sondage mentionné, démontrait déjà un souci de cultiver avec de nouvelles méthodes plus technologiques, et ce, de façon écoresponsable. Dans une ferme ou serre verticale, un des modèles de serres intelligentes ou contrôlées, on cultive en disposant de lits de culture verticale afin d'optimiser l'espace cubique disponible. L'expansion des fermes verticales autonome s'est révélée très rapide, surtout dans les centres urbains d'Asie, d'Europe et d'Amérique du Nord. Actuellement, plusieurs centaines de ces installations sont en activité. Dotées de technologies sophistiquées, elles ouvrent la voie à une nouvelle approche de l'agriculture en environnement contrôlé (Despommier, D. 2019).

Il est donc primordial de trouver des outils de transfert des connaissances afin de soutenir les installations et l'agriculture conventionnelle pour proposer des modèles plus performants et adaptatifs aux nouvelles réalités. La création de liens avec des entreprises et des établissements universitaires apparaît nécessaire afin de partager les connaissances, mais également les bonnes pratiques et les techniques.

Ainsi, la gestion des connaissances pour les serres intelligentes, les serres avec des capteurs pour contrôler l'environnement intérieur, joue un rôle crucial dans l'optimisation des opérations, dans la maximisation des rendements et dans la résolution des problèmes potentiels. Pour les serres verticales, comme pour tout autre domaine spécifique, elle nécessite une approche adaptée aux besoins et aux défis uniques de ce secteur (MAPAQ, 2021).

Cet article permettra de partager des techniques de transfert des connaissances afin d'utiliser le savoir tacite des maraîchers et de le transformer en savoir explicite pour soutenir les serres intelligentes et l'agriculture urbaine :

Les connaissances tacites sont spécifiques du contexte, difficiles à formaliser et à communiquer autrement que par un exemple concret, une image ou un schéma. En maraîchage, elles font référence aux connaissances que possèdent les cultivateurs dans leur champ d'expertise. Elles sont parfois difficiles à formaliser et à communiquer. À l'opposé, les connaissances explicites sont codifiées et transmissibles dans un langage formel, préétabli et systématique. En maraîchage, elles font référence aux connaissances du contrôle des paramètres extérieurs tels que l'humidité, la chaleur, le soleil et les substrats. L'urbanisation des serres intelligentes demande une adaptation différente et propose des enjeux dont les systèmes traditionnels ne paramétraient pas de la même façon. (Larouche-Tremblay et collab., 2024, p. 276)

L'article fera mention d'outils tels que les cartographies du savoir et de partage des connaissances, les communautés de pratique et le lien étroit avec le secteur institutionnel.



Figure 1 – Culture verticale chez AquaVerti Farms
Source : Myriam Larouche-Tremblay (2024)

1. Transfert des connaissances : une nécessité pour les serres intelligentes

Les systèmes maraîchers traditionnels reposent depuis des millénaires sur un savoir tacite transmis de génération en génération. Ce savoir, enraciné dans les pratiques agricoles locales, est partagé au sein des familles et des communautés à travers un apprentissage continu. Chaque famille adapte ces connaissances à ses propres conditions climatiques, à la nature de son sol et aux besoins de sa région, créant ainsi une riche variété de pratiques qui évoluent au fil du temps. Tout est adaptatif et en temps réel, selon les saisons. Kanda et ses collègues (2014) discutent de ce type de partage de connaissances partout à travers le monde. Or, ce modèle ancestral, bien qu'essentiel, fait aujourd'hui face à des défis liés à la modernisation de l'agriculture, aux changements climatiques ainsi qu'à la mondialisation.

Les serres intelligentes proposent un modèle plus technologique, incorporant des capteurs et des contrôleurs afin de standardiser la culture et les récoltes. Il n'y a presque plus de variabilités, car tout doit être cadencé. Bon nombre de cultivateurs ne proviennent pas nécessairement d'une famille établie dans un système maraîcher traditionnel. Il est donc important de pouvoir transmettre à une nouvelle génération de cultivateurs technologiques le savoir cumulé du modèle traditionnel. Il est également important de mentionner que les employés, soit la main-d'œuvre directe, sont en mouvement. En effet, il y a un fort taux de roulement des employés dans tous les secteurs industriels au Québec :

Le taux de roulement moyen au Québec est de 24 %, soit presque 1 employé sur 4 qui quittera volontairement son entreprise dans l'année. Ces pourcentages sont en augmentation ces dernières années, faisant suite à une pandémie qui a remis en question les attentes et les priorités des travailleurs. (Go RH, 2023, s. p.)

Ce taux de roulement important mène à la nécessité de pouvoir collecter les informations et le savoir, puis de les partager rapidement aux nouveaux employés. Dans l'industrie des serres, des pépinières et de la floriculture, une recherche auprès des employeurs du Centre canadien pour les ressources

humaines en agriculture (CCRHA, 2024) a été présentée dans un rapport assez pertinent, dont les conclusions sont les suivantes :

- On estime à 4 300 le nombre de postes non pourvus dans l'industrie des serres, des pépinières et de la floriculture pendant la haute saison en 2022, soit une perte de chiffre d'affaires de plus de 500 millions de dollars.
- Les travailleurs étrangers constituent une part essentielle de la main-d'œuvre qui continuera à croître, atteignant plus de 35 000 travailleurs en 2030 et comblant 82 % de la pénurie de main-d'œuvre nationale pendant la haute saison.
- Comme la production dans ce secteur reste forte, la demande de main-d'œuvre continuera d'augmenter. L'emploi national et étranger ne pouvant pas suivre, le nombre de postes vacants progressera au cours des huit prochaines années.
- La plus grande partie des postes à pourvoir concerne les manœuvres de serres et de pépinières. (CCRHA, 2024, p. 1)

1.1 Système traditionnel : l'apprentissage tacite au cœur du transfert des connaissances

Pour le système d'agriculture traditionnelle, l'apprentissage repose sur un processus tacite, souvent informel, qui se transmet de façon générationnelle. Contrairement aux approches modernes, qui utilisent des outils technologiques sophistiqués, l'apprentissage traditionnel mise sur l'observation, sur l'expérience directe et sur les essais-erreurs sur le terrain. Il s'agit d'un savoir vivant, évolutif, constamment enrichi et adapté au fil du temps.

Par exemple, dans un contexte agricole traditionnel, les techniques de culture sont souvent transmises par l'intermédiaire d'un mentorat familial, où l'apprenti (souvent la nouvelle génération, les enfants) apprend en imitant et en expérimentant. Cette méthode favorise une très bonne adaptabilité, car elle repose sur une compréhension pratique et intuitive des environnements changeants et des défis locaux.

Cependant, le caractère non formalisé de cet apprentissage peut présenter des limites, notamment sur le plan de la documentation, ce qui rend difficile la pérennité. Ce savoir tacite, bien qu'efficace dans des cadres où la continuité est assurée, peut s'avérer vulnérable face à des changements brusques ou à l'introduction de technologies. On constate également qu'il y a un faible taux de collaboration ou de partage avec les établissements universitaires puisque les fermes, serres ou zones agricoles se retrouvent souvent loin des grands centres où se situent les universités. Il est donc plus difficile dans certains contextes de rassembler une communauté de pratique ou d'interagir avec le monde de la recherche universitaire.

1.2 Système automatisé et technologique : un métasavoir dans un contexte moderne et en mutation

Le système technologique des serres intelligentes, en revanche, illustre un tout autre paradigme : celui du métasavoir, caractérisé par un besoin de structure des connaissances qui va au-delà des pratiques traditionnelles, donc tacites. Dans ces environnements modernes et automatisés, le savoir est généralement diffus et devrait être accessible aux différentes parties prenantes. Les équipes qui y travaillent sont hétérogènes, composées d'individus issus de diverses disciplines (p. ex., agriculture, ingénierie, finances ou informatique). Contrairement aux maraîchers traditionnels, ces professionnels n'ont pas nécessairement une expérience directe du terrain ni un apprentissage tacite issu de la pratique agricole.

Par exemple, l'entrepreneur Georges Aczam d'AquaVerti Farms possède un baccalauréat en finances (voir section 6 sur l'étude de cas). Cependant, il a été initié plus jeune par l'entremise de l'entreprise familiale centenaire. Lors d'une rencontre, M. Aczam nous indiquait les besoins de collaboration et de partage des connaissances des paramètres de croissance du système traditionnel. Il incarne cette nouvelle génération d'acteurs qui apportent des compétences techniques et stratégiques, mais qui nécessitent un accompagnement spécifique pour s'adapter aux défis opérationnels du domaine.

Dans ce contexte, la gestion des connaissances devient un enjeu critique. Les allées et venues fréquentes des employés et les changements de direction amplifient le risque de perte de savoir. Cela démontre l'importance de mettre en place des systèmes robustes pour le transfert et la capitalisation des connaissances. La documentation des processus, l'intégration des recrues ainsi que le pont entre le savoir traditionnel et les innovations modernes sont essentiels pour garantir la pérennité des pratiques dans les serres intelligentes.

Le défi principal réside dans la création d'un pont entre ces deux systèmes de transmission du savoir. Il ne s'agit pas uniquement d'adopter des technologies modernes, mais de trouver un équilibre entre l'intuition et l'adaptabilité des pratiques traditionnelles, et la rigueur et l'efficacité des approches modernes. Cela nécessite des efforts coordonnés pour structurer les connaissances tacites, souvent implicites, afin qu'elles soient compréhensibles et exploitables dans un cadre automatisé (et vertical, dans le cas des serres verticales). Par exemple, des outils de gestion de connaissances, des formations croisées entre experts traditionnels et modernes ou encore l'instauration de cadres collaboratifs permettraient de rapprocher ces deux univers.

Finalement, ce dialogue entre tradition et innovation est une opportunité précieuse. En mariant l'expérience pragmatique des pratiques traditionnelles à la puissance analytique et à l'efficacité des technologies modernes, le secteur des serres intelligentes pourra évoluer vers une nouvelle ère de productivité et d'innovation, tout en respectant les savoirs ancestraux, qui constituent la base de la compréhension agricole.

2. Survol de la littérature

Afin de mieux percevoir l'importance de s'intéresser aux différents sujets reliant l'agriculture traditionnelle et l'urbanisation de la culture en serres contrôlées, une recherche du nombre d'articles scientifiques publiés chaque année permet de constater le besoin de s'y attarder.

La recherche d'articles a été réalisée sur le site Google Scholar, avec des articles ouverts et disponibles gratuitement. Une base de mots clés a été utilisée afin d'effectuer différentes recherches pour chaque année entre 2010 et 2024. (Figure 2)

Les résultats obtenus (en nombres) ne reflètent pas uniquement les articles regroupant la totalité des sujets reliant les mots clés. Le nombre représente plutôt les articles pouvant traiter d'une portion de différents axes de sujets pouvant répondre à ces mots clés. Si nous recherchions uniquement les articles ayant le sujet précis des mots clés, très peu d'articles auraient pu être pris en compte. De plus, la recherche a uniquement été réalisée dans la langue française. Les thèmes abordés incluent l'agriculture traditionnelle et l'apprentissage tacite; l'automatisation des serres verticales; l'automatisation de l'agriculture; l'identification des connaissances en agriculture traditionnelle; la transmission du savoir tacite en agriculture; ainsi que la passation des connaissances en serres contrôlées.

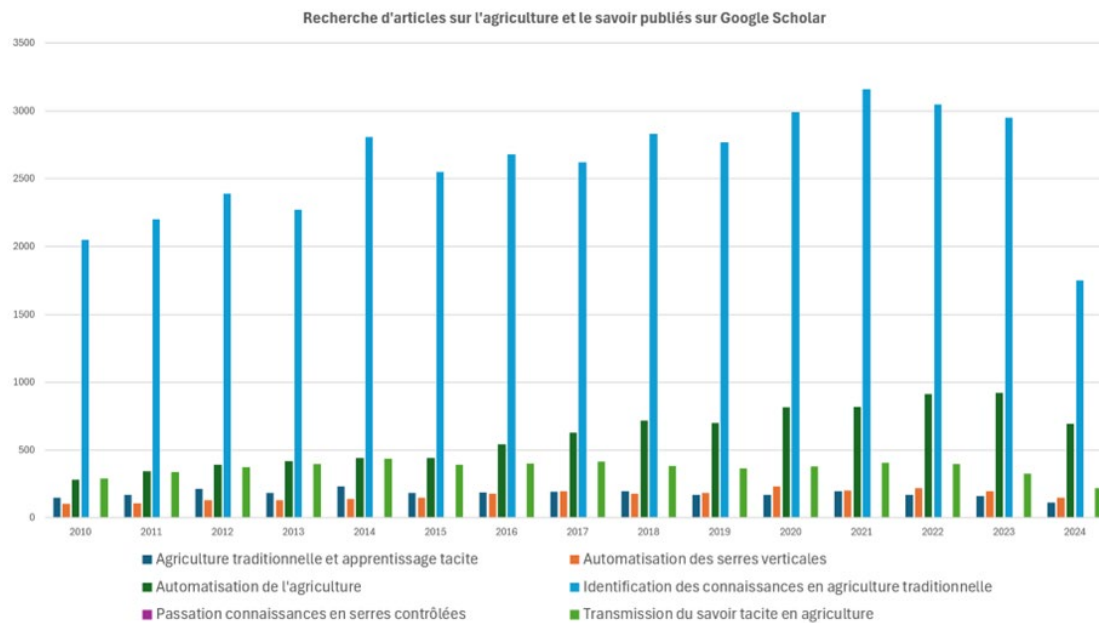


Figure 2 – Graphique représentant la recherche d'articles en français sur différents mots clés en agriculture, 2010-2024

2.1 Analyse des tendances

En utilisant les différents mots clés lors de cette recherche, nous pouvons constater rapidement que certains sujets ont été plus travaillés et publiés que d'autres.

Prenons pour débuter l'identification des connaissances en agriculture traditionnelle. Ce thème domine largement les publications, avec des chiffres dépassant 2500 articles par an dès 2014, ce qui montre une forte reconnaissance de ce sujet dans le domaine de la recherche. L'intérêt est resté stable entre 2014 et 2023, avec une légère diminution en 2024.

Pour l'automatisation de l'agriculture, ce domaine connaît une progression constante et significative depuis 2010, marquant l'évolution vers des approches technologiques dans l'agriculture. Cette tendance reflète l'intérêt croissant pour l'innovation dans les pratiques agricoles. Ce sujet est d'actualité en 2024 et laisse présager son importance pour 2025.

L'automatisation des serres verticales, bien que moins étudiée par rapport aux autres thèmes, montre un intérêt progressif depuis 2018. Cette tendance pourrait être liée à la popularité croissante des méthodes d'agriculture urbaine et durable. Il est donc important de s'y attarder au cours des prochaines années afin d'aider ce secteur d'activité grandissant.

Les thèmes liés à la transmission du savoir tacite en agriculture et à l'agriculture traditionnelle et apprentissage tacite, affichent une croissance modérée. Cela reflète l'importance de préserver et de documenter le savoir-faire agricole, même dans un contexte de modernisation.

Pour terminer, la passation des connaissances en serres contrôlées reste marginale, voire absente dans le tableau. Bien qu'on puisse observer une légère augmentation à partir de 2015, quelques articles en dessous de 4 par an, cela reste très peu. Il y aura sans doute un intérêt croissant pour les environnements agricoles contrôlés au cours des prochaines années.

2.2 Différences et explications

Historiquement, l'agriculture traditionnelle a connu une domination importante comme principal modèle de production agricole, caractérisé par une faible influence technologique et par un respect de la nature. Elle a permis le développement de communautés stables et la croissance de sociétés complexes. L'évolution et l'intégration des innovations technologiques vers des pratiques agricoles modernes (p. ex., automatisation et serres intelligentes) prennent du temps en raison de la nécessité d'adapter les pratiques établies et de surmonter les obstacles liés à l'adoption de nouvelles technologies (Janvry et collab., 2015).

La transition vers des pratiques efficaces et durables grâce à l'automatisation agricole améliore l'efficacité en limitant les erreurs humaines et en augmentant la précision des tâches, ce qui se traduit par une meilleure qualité des produits agricoles et par une réduction des coûts (Thyma, 2024). Les défis climatiques et la pression sur les ressources naturelles poussent le secteur agricole à adopter des technologies d'automatisation pour répondre à la demande alimentaire croissante, tout en préservant l'environnement (FAO, 2022).

La technologie agricole verticale est une solution émergente visant à surmonter les obstacles de l'agriculture traditionnelle et à révolutionner le secteur. Cependant, son adoption est encore limitée, ce qui peut expliquer la stagnation des publications. Les techniques avancées de culture en serres contrôlées (p. ex., capteurs intelligents et automatisation) sont en cours de développement et d'intégration, nécessitant des recherches spécialisées pour optimiser leur utilisation. L'arrivée de l'intelligence artificielle sera elle aussi en développement au cours des prochaines années.

Les données mettent en lumière une coexistence entre la valorisation des approches traditionnelles et l'adoption croissante des technologies en agriculture. Cela reflète un équilibre entre la préservation du passé et l'anticipation des défis futurs, avec une tendance vers des pratiques plus durables et efficaces pour répondre aux besoins alimentaires mondiaux.

3. Identification des connaissances clés en agriculture traditionnelle

L'objectif du transfert des connaissances qui doit être réalisé demeure ouvert et participatif. Il est nécessaire que les parties prenantes, soit les maraîchers, les chercheurs et les collaborateurs, soient toutes volontaires à créer un pont entre les différentes pratiques. Ces pratiques plutôt traditionnelles sont en fait les apprentissages et le dur labeur qu'affrontent les cultivateurs tout au long des saisons. L'environnement extérieur est difficile à contrôler et l'adaptabilité des maraîchers est impressionnante. Il faut utiliser ces connaissances tacites afin de les rendre explicites et de les partager plus facilement dans le but d'aider l'agriculture urbaine et les serres intelligentes à utiliser des méthodes plus standardisées et épurées.

Le point de départ est l'identification des domaines de connaissances essentiels pour la gestion et l'exploitation des serres intelligentes : l'agronomie, l'ingénierie des serres, la technologie de culture hydroponique ou aéroponique, la gestion de l'eau et des nutriments, l'automatisation et la technologie de contrôle ainsi que la durabilité et la gestion des ressources.

En plus de collecter des données, il est essentiel d'analyser différents modèles de serres afin d'évaluer les configurations optimales pour chaque type de culture et chaque environnement. Ces données peuvent inclure des paramètres de gestion de la lumière, de la température, de l'humidité, des besoins en eau et en nutriments, ainsi que l'implantation de solutions en efficacité énergétique. Cette collecte et cette analyse permettent d'affiner les techniques de culture, de maximiser les rendements et d'adapter les serres aux contraintes locales, qu'il s'agisse d'espace limité en milieu urbain ou de climat plus

extrême. Ces informations sont ensuite intégrées aux systèmes de gestion des serres, souvent appuyés par l'intelligence artificielle, pour automatiser et optimiser la gestion des cultures. Il est pertinent d'évaluer par exemple le comportement et les apprentissages effectués pour les serres sur les toits, qui se comportent différemment des serres verticales contrôlées.

La cartographie des connaissances de ces serres sur toit sera le point de démarrage afin d'en savoir plus sur les matériaux, sur les paramètres de croissances ainsi que sur toutes les formalités qui pourront aider à mieux cerner les différents problèmes et solutions (CRETAU, 2021). La cartographie des connaissances dans le domaine des serres verticales implique une analyse approfondie des domaines de connaissances essentiels à la gestion et à l'exploitation efficaces de ces installations agricoles innovantes. En intégrant une cartographie dans un processus de partage des connaissances, il est plus facile de faire interagir différentes parties prenantes. Voici quelques-uns des domaines clés à considérer pour les serres intelligentes :

- *Agronomie* : La connaissance des principes de base de l'agriculture (y compris la physiologie végétale, la nutrition des plantes, la gestion des maladies et des ravageurs) est fondamentale pour maximiser le rendement et la qualité des cultures.
- *Ingénierie des serres* : Comprendre les concepts de conception et de construction des serres (y compris les matériaux de construction, les éléments de mécanique du bâtiment, l'éclairage, le contrôle climatique et la gestion de l'énergie) est crucial pour créer un environnement de croissance optimal pour les plantes.
- *Technologie de culture hydroponique ou aéroponique* : La maîtrise des systèmes de culture sans sol (p. ex., hydroponie et aéroponie) est essentielle pour maximiser l'utilisation de l'espace, pour économiser l'eau et les nutriments ainsi que pour optimiser la croissance des plantes.
- *Gestion de l'eau et des nutriments* : La gestion efficace de l'eau et des éléments nutritifs est un aspect critique de la culture. Elle comprend la surveillance et le contrôle du potentiel d'hydrogène (pH), de la conductivité électrique (EC), de l'humidité et de l'irrigation (fourniture d'eau et de nutriments aux plantes).
- *Automatisation et technologie de contrôle* : Comprendre les systèmes d'automatisation et de contrôle (p. ex., capteurs environnementaux, convoyeur automatisé, transplantation par robotisation, systèmes d'irrigation automatisés, logiciels de gestion de serre) et les technologies émergentes (p. ex., intelligence artificielle et internet des objets) est de plus en plus important pour optimiser les opérations et la productivité.
- *Durabilité et gestion des ressources* : Intégrer des pratiques agricoles durables et une gestion efficace des ressources (p. ex., énergie, eau et matériaux) est essentiel pour réduire l'empreinte environnementale et pour assurer la viabilité à long terme.

En cartographiant ces domaines de connaissances essentiels, les gestionnaires et les praticiens des serres intelligentes peuvent identifier les lacunes de compétences, définir des priorités de formation et de développement, puis mettre en place des stratégies pour améliorer la performance globale de leurs installations agricoles contrôlées. Grâce à cet outil de travail, cette première analyse permet aux maraîchers de partager des techniques personnelles afin de les adapter aux serres intelligentes. Ensuite, ces nouvelles connaissances peuvent être jugées selon leur utilité afin d'assurer une productivité et une meilleure performance (Adans, 2024).

La figure 3 (voir annexe 1) présente une cartographie générique pouvant être adaptée aux serres intelligentes. Le découpage permet de diviser les principaux paramètres de culture : la conception des serres; la gestion du climat intérieur; l'agriculture et la plantation; l'impact environnemental; l'économie et la viabilité; ainsi que les innovations technologiques et les tendances futures.

4. Collecte des connaissances

4.1 Documentation externe et institutionnelle

Afin de collecter adéquatement les connaissances dans le domaine des serres intelligentes, il est primordial d'être près du système institutionnel et de surveiller les différentes publications proposées. Suivre les dernières recherches, publications et innovations sur la culture en serres contrôlées et sur les technologies associées permet de mieux percevoir les enjeux et l'évolution de ce domaine en plein changement. Utiliser les données et recherches externes au milieu permet d'avoir un regard du macroenvironnement qui entoure les serres intelligentes.

Pour mener à bien la surveillance des publications dans le domaine de la culture en serres intelligentes et des technologies associées, voyons en détail les différents outils disponibles à la collecte de connaissances externes. Le tableau 1 propose un résumé des outils de collecte des connaissances et la méthodologie d'application.

Outils de collecte des connaissances	Méthodologie
Revue spécialisée	Les revues scientifiques et techniques spécialisées dans l'agriculture verticale, l'horticulture, l'ingénierie agricole, et d'autres domaines connexes, sont d'excellentes sources d'informations. Elles publient régulièrement des articles de recherche, des études de cas et des analyses approfondies sur les tendances et les développements de l'industrie.
Ressources en ligne	Les revues scientifiques et techniques spécialisées dans l'agriculture verticale, l'horticulture, l'ingénierie agricole, et d'autres domaines connexes, sont d'excellentes sources d'informations. Elles publient régulièrement des articles de recherche, des études de cas et des analyses approfondies sur les tendances et les développements de l'industrie.
Conférences et colloques	Les conférences et les colloques sur l'agriculture verticale offrent une plateforme pour présenter et discuter des dernières recherches et des avancées technologiques. Participer à ces événements permet aux professionnels du secteur de rester à jour sur les tendances émergentes et de nouer des contacts avec d'autres experts du domaine.

Tableau 1 – Outils et méthodologie de la collecte des connaissances externes

L'utilisation des revues spécialisées, des ressources en ligne ainsi que des conférences et colloques permet de partager les connaissances à la communauté de pratique du secteur maraîcher. Il faut savoir que les articles des revues spécialisées peuvent être payants, donc moins accessibles, contrairement aux ressources en ligne, qui sont gratuites. Du côté des conférences et des colloques, ils proposent des informations moins complètes, plus en survol et moins pérennes.

4.2 Documentation interne

Conjointement aux documents externes disponibles, les documents internes partagés par la communauté maraîchère permettent de recueillir les connaissances tacites des experts internes ainsi que de répertorier les bonnes pratiques, les leçons apprises et les solutions aux problèmes rencontrés. L'utilisation de documents internes est un excellent point de départ pour proposer de nouveaux modèles innovants et performants.

Un enjeu de la collecte de la documentation interne en agriculture est la numérisation et le partage de ces données entre les producteurs agricoles. Heureusement, au cours des dernières décennies, la collecte et la numérisation se sont développées. Grâce à ces nouvelles données, il est maintenant plus facile de voir l'évolution de la production, de la productivité et de son empreinte environnementale (Royer et collab., 2020).

Ainsi, la documentation interne joue un rôle essentiel dans la collecte et la préservation des connaissances tacites des experts internes, ainsi que dans l'inventaire des bonnes pratiques, des leçons apprises et des solutions aux problèmes rencontrés dans le cadre des opérations de serres intelligentes.

Voici quelques aspects clés à utiliser dans la collecte de données afin de documenter les informations et de partager les connaissances :

- *Entretiens et communication* : Les entretiens avec les membres de l'équipe peuvent être utilisés pour extraire des connaissances tacites sur les méthodes de travail et sur les astuces ainsi que pour présenter les défis rencontrés et les solutions trouvées.
- *Rapports d'incident et analyses post-mortem* : Répertoire les incidents ou les erreurs survenus ainsi que les analyses post-mortem qui en découlent permet d'identifier les causes sous-jacentes, de tirer des leçons et de mettre en œuvre des mesures correctives pour éviter les récurrences.
- *Base de connaissances et guides de bonnes pratiques* : Créer une base de connaissances centralisée ou des guides de bonnes pratiques permet de consolider les connaissances acquises et de les rendre accessibles à toutes les organisations. Cela peut inclure des procédures opérationnelles standards, des guides de dépannage, des manuels d'utilisation d'équipements, etc.

En documentant de manière systématique les connaissances et les expériences internes, les organisations de serres intelligentes peuvent exploiter l'expertise de leur personnel, renforcer leur résilience opérationnelle et favoriser une culture d'apprentissage continu au sein de leur équipe. En ajoutant une collaboration avec l'externe (p. ex., domaine institutionnel), le pont du partage des connaissances se fortifie et permet de trouver de nouvelles techniques innovantes afin de soutenir les serres contrôlées.

4.3 Stockage et organisation des connaissances

La gestion des connaissances est la pierre angulaire du processus de création menant à l'amélioration ainsi qu'à l'innovation. Ce processeur, appelé système de gestion des connaissances (SGC), met en place des plateformes ou un système informatique pour stocker, organiser et récupérer facilement les informations pertinentes (IBM, 2024). La mise en place d'un SGC est une étape fondamentale pour assurer une gestion efficace des connaissances dans le domaine des serres intelligentes.

Pour débiter, il faut déterminer le choix de la plateforme à intégrer dans le processus de collecte et de partage des connaissances. Il existe plusieurs solutions logicielles disponibles pour la gestion des connaissances, par exemple Oracle et IBM Watson Discovery, qui offrent des outils simples de gestion de documents aux systèmes plus complexes de gestion de contenu. Il est primordial de concevoir une structure de stockage des données logique et intuitive, qui reflète les différents domaines de connaissances et les flux de travail en agriculture traditionnelle, urbaine et verticale.

Pour les producteurs, les grossistes et toute la chaîne d'approvisionnement, le SGC peut être intégré à d'autres systèmes existants, par exemple les systèmes de gestion de la relation client (CRM) et les systèmes de gestion des ressources. En mettant en place un SGC robuste et bien pensé, les organisations peuvent centraliser leurs connaissances, favoriser la collaboration et l'innovation ainsi qu'améliorer l'efficacité opérationnelle de leurs serres.

Il est également possible, grâce aux avancées technologiques des dernières années, d'utiliser des applications mobiles pour téléphones intelligents qui offrent des outils indispensables dans la gestion des serres intelligentes, complémentaires aux systèmes de gestion du bâtiment (BMS) intégrés aux contrôles des paramètres internes (gestion des points de consigne, établissement d'horaire et gestion d'alarmes). Ces applications ont d'abord été utilisées pour des jardins domestiques, puis adaptées pour la production en serres intelligentes (Innowise, 2022). Ces plateformes numériques permettent aux utilisateurs de contrôler et d'ajuster facilement les principaux paramètres de croissance (p. ex., température, humidité, éclairage ou ventilation) directement depuis un appareil mobile, où qu'ils se trouvent. Ce type d'application mobile permet donc d'avoir une traçabilité en temps réel et de partager le savoir en tout temps. Cette gestion à distance offre une flexibilité inédite aux cultivateurs, leur permettant de réagir rapidement aux variations des conditions environnementales ou aux besoins spécifiques des cultures (Myfood, 2024). L'entreprise montréalaise AquaVerti Farms (voir section 6 sur l'étude de cas) utilise ce type de plateforme comme outil de transfert de données et de partage de connaissances, en complémentarité avec le BMS central.

Les applications mobiles, personnalisables selon les besoins, ne se contentent pas d'améliorer les opérations courantes; elles jouent également un rôle clé dans la recherche-développement. En rassemblant et en analysant des volumes importants de données sur des périodes prolongées, elles permettent d'identifier des tendances, de tester de nouvelles techniques de culture et de développer des solutions innovantes pour répondre aux défis environnementaux et économiques (Despommier, 2019). Ainsi, elles deviennent un levier puissant pour promouvoir une agriculture de précision, plus durable et résolument tournée vers l'avenir.

4.4 Structure suggérée pour le SGC d'une serre intelligente

En réalisant la revue de littérature et en peaufinant les recherches sur l'agriculture urbaine et intelligente, le besoin en structure pour la réalisation d'une cartographie SGC s'avère nécessaire. Afin de parvenir à connecter les différents acteurs du monde maraîcher, voici une structure suggérée pour les serres intelligentes (voir tableau 2), mais adaptable à l'agriculture urbaine, sur toit et traditionnelle. La structure présente les principales données pour la création du découpage : capteurs, stockage, analyse, système de gestion des connaissances, application des connaissances et utilisateurs de cette structure.

Structure pour SGC serres verticales	Découpage du SGC
Capteurs et Collecte de Données	Capteurs de température Capteurs d'humidité Capteurs de lumière Capteurs de qualité de l'air Capteurs de nutriments
Stockage des Données	Bases de données locales Cloud
Analyse de Données	Algorithmes d'analyse Intelligence artificielle
Système de Gestion des Connaissances (SGC)	Bibliothèque de Connaissances Moteur de Recommandation Interface Utilisateur
Application des Connaissances	Contrôle Automatisé Alertes et Notifications Optimisation des Ressources
Utilisateurs	Agriculteurs Gestionnaires de Serres Techniciens

Tableau 2 – Structure et découpage pour la création d'une cartographie du système de gestions des connaissances (SGC)

Pour donner suite à la réalisation des principales étapes et aux enjeux afin d'adapter les savoirs ancestraux aux nouveaux savoirs des serres intelligentes, il est possible de créer une cartographie à implanter dans un système intégré. L'utilisation du tableau précédent permet d'identifier les segments de la cartographie. Celle-ci est plus explicite et permet d'ajouter plus facilement de nouveaux attributs.

La cartographie suivante (voir annexe 2, figure 4) reprend tout le découpage par section. Le partage des connaissances pourra se faire entre les différentes parties prenantes et communautés de pratique. Cette cartographie permet de visualiser l'ensemble des savoirs traditionnel et moderne ainsi que leurs interactions. Elle pourrait inclure des informations sur les méthodes de culture traditionnelles, sur les cycles de vie des plantes, sur les techniques de gestion des sols et sur les nouvelles technologies (p. ex., intelligence artificielle, capteurs et systèmes de contrôle automatisés).

Une fois cette cartographie établie, elle pourrait être intégrée dans un système de gestion des connaissances centralisé, accessible à toutes les parties prenantes, qu'il s'agisse de maraîchers traditionnels, de chercheurs institutionnels ou d'exploitants de serres intelligentes. Ce système intégré faciliterait le partage des connaissances et des bonnes pratiques à travers une plateforme collaborative, permettant ainsi aux communautés de pratique d'échanger en temps réel sur les défis et les solutions spécifiques.

En plus de la mise à jour régulière des informations, il est important de développer de bonnes pratiques afin d'archiver les connaissances obsolètes ou périmées, tout en préservant l'accès aux informations historiques importantes. En établissant des critères clairs pour déterminer quelles informations doivent être archivées en fonction de leur pertinence et de leur utilité, la gestion des données sera optimisée, par exemple en utilisant un système de type « Historian ». Il sera également important de mettre en place des systèmes de stockage sécurisés pour archiver les informations. De plus, il est nécessaire de garder une trace de l'historique des modifications apportées aux informations archivées, y compris les raisons de l'archivage, les dates de création et de modification ainsi que les personnes responsables de la décision d'archivage, pour une meilleure traçabilité.

La collecte de données s'avère être le point de départ de la transmission du savoir. Le partage est l'action la plus importante dans le domaine de l'agriculture. La culture organisationnelle et humaine de ce secteur d'activité est basée sur l'expérience, sur les essais et sur l'apprentissage technique des différentes méthodes que les maraîchers ont su peaufiner au fil des décennies. En réalisant une cartographie détaillée, comme mentionné plus haut, le partage des connaissances est mis de l'avant. Pour obtenir des serres intelligentes plus autonomes, technologiques, productives et écoresponsables, ces pratiques sont essentielles afin de mener à bien ce partage. Les cultivateurs et la communauté maraîchère peuvent, entre autres, être soutenus par des réunions et ateliers de partage de connaissance, où les membres peuvent échanger de façon formelle ou informelle. Il est aussi pertinent de s'intégrer à des communautés de pratique et à des plateformes collaboratives d'échange et de perfectionnement.

Réunions et ateliers de partage des connaissances

Organiser des réunions et des ateliers de manière régulière est une pratique favorable pour le partage des connaissances au sein d'une équipe travaillant dans des serres intelligentes. Ces séances, structurées et bien adaptées, offrent une occasion précieuse pour les membres de l'équipe de présenter leurs découvertes, leurs projets en cours et les défis auxquels ils font face. Le tableau 3 rapporte de bonnes pratiques pour mener à bien ces réunions et ateliers.

Réunions et ateliers de partage de connaissances	Méthodologie
Planification et Fréquence	- Établir un calendrier régulier - Partage continu des connaissances - La fréquence peut varier en fonction des besoins et des priorités de l'équipe, mais il est recommandé d'avoir au moins une réunion par mois.
Ordre du jour	- Définir un ordre du jour clair et précis pour chaque réunion ou atelier - Présentations les objectifs à atteindre
Encouragement de la participation	- Encourager tous les membres de l'équipe à participer - Partageant les expériences, les idées et les suggestions - Créer un environnement inclusif et dynamique
Documentation des discussions	- Prendre des notes lors des réunions pour documenter les points clés discutés - Ces notes serviront de référence pour les réunions futures et permettront de suivre les progrès réalisés sur les sujets abordés

Tableau 3 – Méthodologie pour réunions et ateliers de partage des connaissances

En organisant des réunions et des ateliers de partage de connaissances réguliers, les équipes travaillant dans les serres intelligentes peuvent renforcer leur collaboration, stimuler l'innovation et résoudre plus efficacement les défis auxquels elles font face :

Notre objectif est de bâtir, en partenariat avec les maraîchers, un réseau agro-industriel capable de soutenir un approvisionnement local à longueur d'année. Pour y arriver, nous misons sur l'agriculture verticale et sur l'intégration de nos opérations à celles des producteurs. (Ferme d'Hiver, 2024, s. p.)

Communautés de pratique

Les communautés de pratique constituent une ressource importante pour le partage du savoir, mais également pour la valorisation de l'innovation technologique. Pensons à des regroupements tels que le Laboratoire sur l'agriculture urbaine (AU/LAB) à Montréal, qui se présente comme un laboratoire sur l'agriculture de recherche, de formation et d'innovation permettant de réaliser un lien étroit entre les différentes parties prenantes. Cet organisme à but non lucratif encourage l'émergence d'initiatives dans les différentes étapes de l'agriculture urbaine, de la production jusqu'à la mise en marché. Il offre une perspective innovante aux contributeurs ayant des enjeux durables dans une économie circulaire. Plusieurs activités (p. ex., séminaires de discussion, formations, conférences) et services adaptatifs sont proposés par cette organisation (AU/LAB, 2024).

Plateformes collaboratives d'échange et de perfectionnement

Pour rendre ces activités et ce partage de connaissances plus rapides et faciles à effectuer, l'utilisation d'outils collaboratifs en ligne est un moyen efficace au sein d'une équipe travaillant dans des serres intelligentes. Ces plateformes offrent un espace centralisé où les membres de l'équipe peuvent partager des documents, poser des questions, discuter de solutions et collaborer sur des projets. À l'aide de ces plateformes, il est possible pour les utilisateurs d'intégrer et d'organiser facilement des documents pertinents (p. ex., rapports, présentations, manuels et procédures opérationnelles standards). La communication est également plus agile, car elle peut se faire en temps réel. L'utilisation de discussions en ligne, de fils de commentaires ou de clavardage permet aux membres de l'équipe de poser des questions, de solliciter des conseils et d'échanger des idées de manière rapide et efficace (Cornut, 2024).

Il est primordial de choisir un bon outil collaboratif adapté à la situation, facilement accessible et intuitif à utiliser pour tous les membres de l'équipe, quel que soit leur niveau de compétence technologique (Diongue, 2020). Bref, en intégrant une plateforme collaborative dans leurs méthodes de gestion des connaissances, les maraîchers des serres intelligentes peuvent améliorer leur communication, leur productivité et leur capacité à travailler ensemble de manière efficace, même à distance ou sur des projets précis entourant les hautes technologies et les paramètres de culture en serres contrôlées.

5. Gestion du cycle de vie des connaissances

Pour donner suite à l'organisation des connaissances, il sera essentiel d'assurer du suivi sur les informations stockées dans le système. Celles-ci doivent régulièrement être mises à jour pour présenter les dernières avancées et les meilleures pratiques dans le domaine des serres intelligentes.

Processus de publication des avancements

Dans ce processus de veille et de mise à jour en continu, il faudra mettre en place un processus de publication des avancements. Il est pertinent de penser à des rapports industriels, à l'ajout et à la découverte d'innovations technologiques qui permettent de changer les façons de faire traditionnelles. En créant une équipe responsable de la veille technologique, il sera plus agile de concevoir les tendances du marché et les améliorations possibles pour la culture en serres intelligentes.

Révisions périodiques des contenus et connaissances

La planification de révisions périodiques des contenus et connaissances stockés dans le système de gestion des connaissances permettra d'évaluer la pertinence de la collecte. Ce sera le moment idéal pour retirer les informations dites obsolètes et/ou incorrectes. Pour donner suite à cette révision, la formation obtenue pour les membres de l'équipe, chercheurs et collaborateurs leur permettra de rester informés sur les dernières avancées et sur les meilleures pratiques dans le domaine. Cela peut inclure des séances de formation, des webinaires, des ateliers ou des conférences sur les sujets pertinents (USU, 2024). En réalisant une collecte stratégique des informations entreposées dans le SGC, non seulement ces données collectées restent constamment actualisées, mais les organisations peuvent garantir que leur personnel dispose toujours des connaissances les plus récentes pour prendre des décisions éclairées et pour maintenir la compétitivité dans leur secteur d'activité.

Indicateurs de performance

Ce type de processus agile et en constante évolution nécessite également de mettre en place des indicateurs de performance et des outils pour évaluer l'efficacité de la gestion des connaissances (p. ex., temps de résolution des problèmes, taux d'adoption des meilleures pratiques de gestion des

connaissances). Ces indicateurs et outils sont cruciaux pour comprendre l'impact des initiatives de gestion des connaissances (Oracle, 2024).

Le cycle de vie des connaissances inclut cinq étapes (voir figure 5) permettant de représenter la structure du contenu, l'intégration et les outils, la formation, les différentes mises à jour de la planification ainsi que la réorganisation : 1) la création, 2) l'organisation, 3) la diffusion, 4) l'exploration et 5) l'optimisation (Ben Chouikha, 2016).



Figure 5 – Cycle de vie des connaissances
Source : adapté de Popote (2023)

Afin de mener à bien ce cycle de vie des connaissances, il faut mesurer par exemple le temps pour résoudre les problèmes ou les défis rencontrés dans les serres intelligentes, puis fournir des indications sur l'efficacité de la diffusion des connaissances et sur la disponibilité des informations pertinentes pour résoudre les problèmes rapidement (Commission ontarienne des droits de la personne, 2024).

Les applications mobiles dédiées à la gestion des connaissances permettent aux utilisateurs d'accéder à des informations essentielles, de les partager et de les gérer en déplacement. Ces outils facilitent la collaboration, améliorent la productivité et assurent que les équipes disposent des informations les plus récentes, où qu'elles se trouvent.

Par exemple, Oracle (2024) propose des solutions robustes pour la gestion des connaissances au sein des entreprises. Son système permet de collecter, d'organiser, de gérer et d'utiliser les connaissances et l'expertise pour résoudre les problèmes des collaborateurs et des clients. Les fonctionnalités incluent des outils de recherche avancée, des analyses puissantes, la gestion de contenu et le contrôle d'accès.

Taux d'adoption des meilleures pratiques

Suivre le taux d'adoption des meilleures pratiques identifiées et documentées dans le système de gestion des connaissances permet de mesurer la meilleure proportion des pratiques identifiées et documentées dans le système qui sont mises en œuvre dans les opérations quotidiennes. Ce taux peut être calculé en

surveillant le nombre de processus ou d’actions conformes aux meilleures pratiques par rapport au total des processus observés. Par exemple, cela inclut l’utilisation régulière des paramètres optimisés pour l’irrigation, l’éclairage ou la gestion des nutriments, ainsi que le respect des protocoles recommandés pour la maintenance des équipements ou la rotation des cultures.

Une adoption élevée reflète l’efficacité du système de gestion des connaissances, la diffusion et l’application des bonnes pratiques, tandis qu’un taux faible peut indiquer des lacunes dans la formation, dans l’accessibilité des informations ou dans la pertinence des pratiques proposées. Cela permet d’évaluer l’impact des connaissances sur la performance des serres intelligentes et d’identifier les pratiques nécessitant des améliorations.

Utilisation du système de gestion des connaissances

Analyser les statistiques d’utilisation du système de gestion des connaissances permet de fournir des informations sur l’engagement des utilisateurs et sur l’efficacité du système dans la diffusion des connaissances pour soutenir les opérations des serres intelligentes. Le tableau 4 indique une liste de quelques indicateurs clés à suivre.

Utilisation du système de gestion des connaissances	Méthodologie
Le nombre de connexions	Mesurer la fréquence et la régularité des connexions des utilisateurs, techniciens ou gestionnaires de serres verticales au système. Une augmentation du nombre de connexions peut refléter un intérêt accru pour l'accès aux données ou aux meilleures pratiques.
Les recherches effectuées	Analyser les recherches effectuées dans le système pour identifier les sujets les plus consultés, comme des informations sur l'optimisation de l'éclairage LED, la gestion des cycles de culture en hydroponie ou la surveillance des capteurs de croissance. Cela permet de mieux comprendre les besoins d'information spécifiques au fonctionnement des serres verticales
Les contributions d'utilisateurs	Suivre les contributions telles que l'ajout ou la mise à jour des meilleures pratiques, les rapports d'incidents ou les partages d'études de cas spécifiques aux serres verticales. Cela montre dans quelle mesure les utilisateurs participent activement à l'enrichissement du système et à la diffusion des connaissances.

Tableau 4 – Indicateurs clés dans l'utilisation et l'analyse de la gestion des connaissances pour les serres intelligentes

En étant spécifiquement orientée vers les défis et les besoins des serres intelligentes, cette analyse permet d’évaluer l’efficacité du système pour répondre aux attentes des utilisateurs et pour favoriser des pratiques agricoles plus performantes et durables.

Amélioration de la productivité

Évaluer les gains de productivité ou les économies réalisées grâce à l’application des connaissances acquises ou des meilleures pratiques partagées peut être une mesure indirecte de l’efficacité de la gestion des connaissances (Commission ontarienne des droits de la personne, 2024).

Pour donner suite au cycle de vie des connaissances, la collecte de rétroactions des utilisateurs est essentielle pour identifier les points forts, les lacunes et les possibilités d’amélioration dans le système

de gestion des connaissances. On pourrait entre autres sélectionner des outils et méthodes tels que la réalisation d'enquêtes et de sondages ainsi que l'organisation de groupes de discussion. Les communautés de pratique ainsi que les groupes de discussion permettent aux maraîchers, aux chercheurs et aux collaborateurs d'exprimer leurs opinions de manière plus détaillée, de partager leurs expériences et de discuter des défis rencontrés dans l'utilisation du système de gestion des connaissances.

En mettant en œuvre un processus continu de rétroaction et d'ajustement, les maraîchers peuvent s'assurer que leur système de gestion des connaissances évolue en réponse aux besoins changeants des utilisateurs et aux exigences du domaine des serres intelligentes, ce qui contribue à l'amélioration continue des opérations et des performances globales.

6. Étude de cas : partage des connaissances de l'entreprise AquaVerti Farms

Pour poursuivre les notions sur les techniques et sur les outils de partage des connaissances en serres intelligentes, l'entreprise montréalaise AquaVerti Farms a partagé son processus de collecte et de partage d'informations et de connaissances. Chef de file en agriculture verticale intérieure au Québec, l'entreprise cultive des produits frais et sûrs tout au long de l'année. Elle utilise des techniques hydroponiques et pratique l'agriculture en environnement contrôlé (AEC). Cela signifie qu'elle cultive dans l'eau, plutôt que dans le sol, en disposant de lits de culture verticale afin d'optimiser l'espace cubique disponible. Les paramètres de culture (p. ex., température de l'air, eau, humidité, taux d'oxygène et niveau de CO₂) sont contrôlés en temps réel à l'aide d'un système de gestion de bâtiment (BMS), qui agit comme un tableau de bord, accessible pour toute l'équipe. Ainsi, les cultures sont protégées des fluctuations et des changements climatiques.

Située au Québec, l'entreprise bénéficie d'une énergie entièrement issue de l'hydroélectricité renouvelable, ce qui garantit que toute l'énergie utilisée par AquaVerti Farms est 100 % renouvelable. La méthode de culture permet d'offrir une qualité constante et un approvisionnement fiable, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire de la province. Selon AquaVerti Farms, cette approche réduit de 99 % le besoin de transport et utilise 94 % moins d'eau que l'agriculture traditionnelle. En utilisant une énergie 100 % renouvelable, l'entreprise est apte à produire de manière durable et à grande échelle, une première... en 14 000 ans.



Figure 6 – Environnement de culture d'AquaVerti Farms : micropousses de pourpier (*Portulaca*)
Source : Myriam Larouche-Tremblay (2024)

AquaVerti Farms permet de contribuer à la sécurité alimentaire locale et d'offrir une chaîne d'approvisionnement stable, protégée des aléas politiques et des changements climatiques. Par exemple, pour un seul point de vente, soit le Marché Jean-Talon à Montréal, 80 bacs par jour de produits frais cultivés dans les serres y sont acheminés. Cela représente environ 160 bacs par semaine. L'entreprise fournit également les Fermes Lufa en fines herbes (coriandre, persil, aneth, sauge, pourpier, thym), quelques restaurants en produits frais et les épiceries IGA et Metro (kale, laitue frisée et roquette) tout au long de l'année. En juillet 2022, les produits d'AquaVerti Farms étaient disponibles dans plus de 200 magasins à travers le Québec et le nord du Nouveau-Brunswick (AquaVerti Farms, 2024).

Ainsi, l'entreprise aide à maximiser la production en créant un environnement optimal tout au long de l'année et en exploitant pleinement l'espace cubique disponible. Cela permet de protéger la santé de la communauté en éliminant l'utilisation de pesticides, d'herbicides et de fongicides. La serre dispose de plus de 61 m (200 pi) de long de culture avec des bassins modulables. De plus, afin d'offrir des produits sans pesticides ni herbicides, l'entreprise utilise des coccinelles, des alliées précieuses dans la lutte biologique contre les pucerons et autres ravageurs des plantes (Gamm Vert, 2024). Ces insectes consomment ces nuisibles à tous les stades de leur développement, contribuant ainsi à protéger les cultures de manière écologique. Une seule coccinelle peut dévorer entre 50 et 60 pucerons par jour, ce qui signifie jusqu'à 5 000 pucerons au cours de sa vie. Bref, la coccinelle est une option efficace aux pesticides chimiques (Ouadah, 2009).

L'entreprise offre la fraîcheur et la qualité nutritive des produits, tout en réduisant le gaspillage alimentaire grâce à des produits qui restent frais plus longtemps. De plus, elle aide à diminuer les émissions de gaz à effet de serre en limitant le transport.

L'équipe est composée de jeunes agriculteurs urbains passionnés par l'agriculture verticale et engagés envers la sécurité alimentaire mondiale. Ils sont dédiés à transformer l'agriculture en une industrie durable, responsable et locale. AquaVerti Farms soutient la recherche universitaire et permet de créer un pont avec les établissements d'enseignement. Les partages de connaissances ont permis de constater que les informations traduites dans cet article sont également utilisées au sein de leur entreprise.

Logiciel et méthodes utilisés pour le partage de connaissances chez AquaVerti Farms

AquaVerti Farms a conçu et développé son propre système de gestion des connaissances sous la forme d'une application mobile innovante : la plateforme AquaVerti OS. Conçue en interne, elle représente une solution spécifiquement pensée pour faciliter le partage et le suivi des projets ainsi que les phases de tests au sein de l'entreprise.

L'architecture est le cœur technique de l'application. Il s'agit de l'utilisation d'un serveur, dont le rôle est de collecter des données, de les traiter et de l'entreposer. L'application mobile est la partie visible et interactive du système. Elle affiche des données en montrant à l'utilisateur des graphiques et tableaux pour visualiser les paramètres en temps réel. Elle permet le contrôle des paramètres par l'utilisateur, qui peut ajuster des réglages tels que l'irrigation ou l'éclairage par des boutons ou des curseurs. Il est également possible de recevoir des notifications et alertes en cas de problèmes (p. ex., une température trop basse) (Memmadi, 2019).

La serre intelligente doit être connectée par le biais du BMS et utiliser des capteurs et des contrôleurs pour les paramètres de croissance. C'est d'ailleurs le cas d'AquaVerti Farms, qui détient tous les capteurs pour les paramètres de contrôle. Les capteurs mesurent les données environnementales (p. ex., humidité ou CO²). Les actionneurs réalisent des actions, comme ouvrir une valve d'eau ou régler

l'intensité des lampes à DEL. Avec une intégration de l'internet des objets, il est possible de connecter les capteurs et actionneurs à l'application.

Le serveur et l'application mobile nécessitent tous les deux des interfaces de programmation d'applications qui sont essentielles pour les connecter. Avec des algorithmes d'automatisation, il sera possible de recevoir de l'apprentissage automatique. Il faut également penser à l'intégration de l'intelligence artificielle, qui permettra de solidifier l'apprentissage plus rapidement et en temps réel. Grâce à ces intégrations, un système pourra s'améliorer de manière autonome avec le temps en apprenant des données récoltées (Ben Saidj, 2018).

L'objectif de l'application mobile AquaVerti OS du SGC est de rendre le partage d'informations plus fluide et accessible à tous les membres de l'organisation, que ce soit sur site ou à distance, permettant ainsi de renforcer la communication, la collaboration et la transparence. Grâce à cette application mobile, chaque membre de l'équipe peut accéder en temps réel aux connaissances, aux données de recherche et aux résultats liés à différents projets. Cette disponibilité immédiate des informations aide à optimiser les prises de décision, à accélérer l'innovation et à garantir une efficacité opérationnelle accrue.

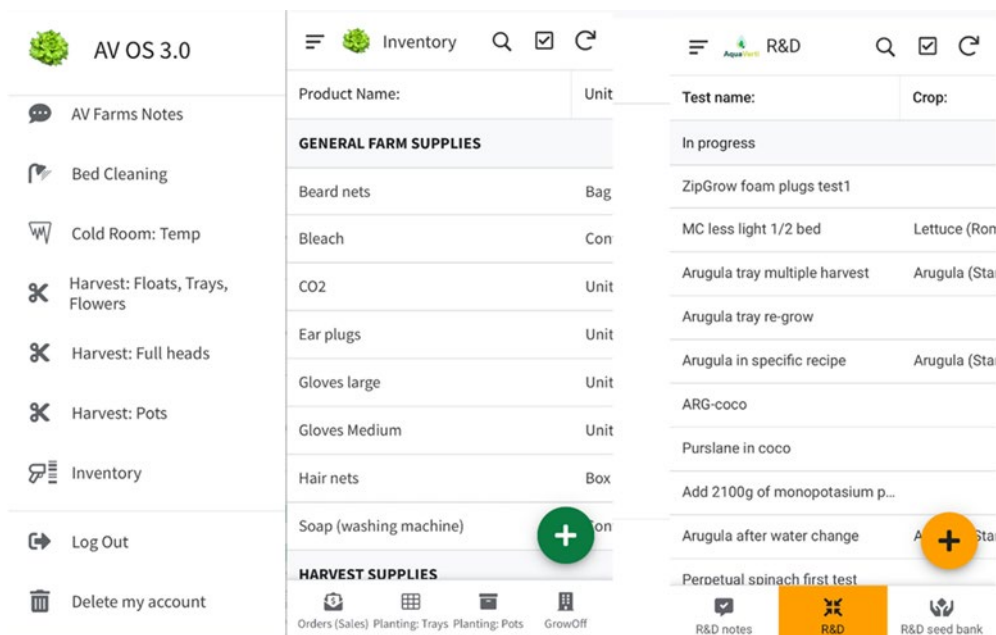


Figure 7 – Application mobile de gestion du savoir et des connaissances AquaVerti OS

La structure de l'application s'appuie sur une hiérarchie intuitive semblable à un organigramme, facilitant la navigation à travers les différents onglets et sections. Les nomenclatures et classifications bien définies permettent aux utilisateurs de trouver rapidement les informations nécessaires, tandis que des icônes pratiques aident au suivi des tâches, de l'avancement des idées ou encore des projets en phase de test. Cette visualisation claire de l'état des projets permet à chaque membre de suivre facilement les progrès et d'interagir de manière proactive, créant ainsi une dynamique de travail fluide et cohérente au sein de l'organisation.

Les paramètres de contrôle jouent un rôle crucial dans l'optimisation des temps de cycle et dans la maximisation des rendements. L'application AquaVerti OS permet de suivre ces statistiques, car elle est reliée aux tableaux de bord situés à l'intérieur des serres, offrant une vue en temps réel des résultats

obtenus pour différentes variétés cultivées. L'accès aux données en temps réel permet aux membres de l'équipe de prendre des décisions rapides et éclairées pour ajuster les paramètres de culture, tout en maximisant l'efficacité des opérations.

En plus du suivi des données actuelles, l'application regroupe les apprentissages accumulés au fil du temps. Ces données historiques permettent de suivre les progrès réalisés dans l'amélioration des rendements et d'identifier les meilleures pratiques issues des cycles précédents. L'utilisation de ces connaissances accumulées affine les stratégies de culture et vise des résultats toujours plus performants.

L'application mobile couvre plusieurs aspects essentiels du processus de culture, notamment la planification de nouveaux cycles de production, l'analyse approfondie des paramètres de croissance, l'amélioration continue des rendements ainsi que le suivi des projets en cours de recherche-développement. Chaque membre de l'organisation peut accéder à ces fonctionnalités, garantissant du suivi centralisé et efficace de toutes les activités et innovations, directement depuis cette plateforme numérique. Grâce à cette solution, AquaVerti Farms assure une gestion intégrée, intelligente et réactive de l'ensemble de ses processus agricoles.

Conclusion

Pour donner suite à ces constats, les serres intelligentes et les jardins urbains nécessitent un cycle de vie des connaissances complet et adapté. Ce domaine de l'agriculture offre des systèmes de culture innovants basés sur des techniques et des technologies spécifiques qui évoluent rapidement. L'avenir reposera sur l'application des connaissances en intégrant des plateformes d'intelligence artificielle. Un cycle de vie des connaissances permet de collecter, d'organiser et de diffuser les informations critiques. L'agriculture verticale et urbaine se retrouve dans un environnement où l'espace est limité et où les conditions de croissance peuvent être variées, mais contrôlées en temps réel. Il est essentiel de disposer d'une base de connaissances à jour pour maximiser l'efficacité et la productivité des cultures :

L'agriculture traditionnelle utilise 70 % de l'eau douce du monde. L'agriculture verticale utilise 94 % moins d'eau que l'agriculture traditionnelle. Dans notre eau, nous créons la formule nutritive parfaite pour chaque culture. Nous recyclons la chaleur produite par nos lumières pour amener notre eau à un niveau parfait. (AquaVerti Farms, 2024)

Grâce aux communautés de pratique (p. ex., le CRETAU et AU/LAB), le partage des connaissances entre les praticiens de l'agriculture traditionnelle et les exploitants de serres intelligentes peuvent grandement améliorer l'optimisation de ces dernières. Les maraîchers traditionnels possèdent une richesse de savoir-faire, de connaissances tacites et explicites, d'expériences et des bonnes pratiques en matière de gestion des sols, de traitement des maladies et de cycles de croissance des plantes, qui peut être adaptée aux environnements contrôlés des serres intelligentes. Certaines techniques éprouvées par les maraîchers peuvent être appliquées de manière innovante dans les systèmes de culture (p. ex., réalisation de la rotation des types de culture, différentes méthodes de gestion des nutriments et paramètres de croissance).

Il est nécessaire de relier les serres intelligentes avec le milieu institutionnel afin de bénéficier des recherches agronomiques et technologiques portant sur les capteurs de croissance et sur l'intelligence artificielle. En combinant les bonnes pratiques traditionnelles avec les technologies modernes de culture verticale, il est possible de développer des systèmes de production alimentaire plus robustes, efficaces et durables. Ces modèles pourront être duplicables et offrir de plus grandes récoltes tout au long de l'année, et ce, même dans les pays nordiques ayant moins de temps d'ensoleillement.

Ajoutons l'importance de la formation théorique et pratique. Le partage des connaissances solidifie cette transition entre les techniques traditionnelles et les nouvelles technologies de culture. Il est primordial d'encourager les interactions entre les experts en culture traditionnelle, les chercheurs institutionnels et les cultivateurs en serres intelligentes pour faciliter le transfert des connaissances tacites et l'apprentissage par l'expérience dans ce contexte. En réalisant la promotion de programmes de jumelage et de séances de partage d'expérience, et en encourageant la collaboration entre les différents secteurs de l'agriculture, les organisations pourront exploiter pleinement le potentiel de leur personnel, accélérer le développement des compétences et favoriser une culture d'apprentissage continu.

Dans le domaine des serres contrôlées, l'avenir est prometteur et s'annonce révolutionnaire grâce à l'intégration croissante de technologies avancées et de l'intelligence artificielle. Ces serres intelligentes représentent une avancée importante dans l'agriculture, car elles permettent de maximiser l'efficacité des cultures, tout en minimisant les ressources nécessaires. En utilisant des capteurs, des systèmes automatisés et des algorithmes d'intelligence artificielle, ces serres peuvent créer des environnements de croissance optimaux. L'intelligence artificielle jouera un rôle central dans cette transformation au cours des prochaines années en permettant, entre autres, une gestion plus agile, précise et prédictive des cultures. Les algorithmes d'apprentissage automatique, basés sur le partage des connaissances et sur son cycle de vie, peuvent analyser de vastes quantités de données provenant de capteurs sur l'humidité, la température et la lumière, ajustant automatiquement les conditions de la serre pour optimiser la croissance des plantes. De plus, l'intelligence artificielle peut détecter et diagnostiquer les maladies, ce qui permet des interventions rapides et ciblées.



Figure 8 – Bassins modulaires automatisés, capteurs de contrôle pour l'éclairage et irrigation chez AquaVerti Farms
Source : Myriam Larouche-Tremblay (2024)

En matière de technologies et d'innovation, l'intégration de l'internet des objets avec l'intelligence artificielle dans les serres intelligentes ouvre des possibilités. Ces dispositifs permettront une surveillance en temps réel et une collecte de données continue, tout en interprétant ces données pour prendre des décisions rapidement.

Il est pertinent d'aborder également les avancements et les innovations dans le domaine de la biotechnologie. Il est possible de développer des variétés de plantes mieux adaptées aux conditions spécifiques des serres contrôlées. De plus, l'utilisation de l'énergie renouvelable pour alimenter ces serres, combinée à des systèmes de recyclage de l'eau et des nutriments, peut rendre ces installations encore plus durables et respectueuses de l'environnement.

Bref, les serres contrôlées représentent l'avenir de l'agriculture moderne, offrant une solution viable à la demande croissante de nourriture dans un monde aux ressources limitées. L'intelligence artificielle et les technologies émergentes joueront un rôle crucial dans la réalisation de ce potentiel, permettant une production alimentaire plus efficace, durable et résiliente. Les innovations sont en pleine expansion dans ce domaine, promettant de transformer radicalement la manière dont nous cultivons et consommons notre nourriture, ouvrant la voie à une nouvelle ère d'agriculture intelligente.

RÉFÉRENCES

- AquaVerti Farms. (2024). *AquaVerti Farms*. <https://www.aquavertifarms.com>
- Ardans. (2024). *Knowledge consulting and software solutions*. <https://www.ardans.fr/cartographie/recensement-des-connaissances.html>
- Ben Chouikha, M. (2016). *Design organisationnel pour le management des connaissances*. ISTE Éditions.
- Ben Saidj, Z. (2018). *Gestion d'une serre agricole à base d'Arduino* [Mémoire de maîtrise]. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. <https://dspace.ummto.dz/server/api/core/bitstreams/f90367b-d475-466b-b5ed-97cc4a574c85/content>
- Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine (CRET'AU). (2021). *Fiche technique et économique : production maraîchère urbaine en serre sur toit ou au sol*. http://cretau.ca/wp-content/uploads/2021/04/Fiche-technique_et_economique_Serriculture-urbaine-3.pdf
- Commission ontarienne des droits de la personne. (2024). *Processus de collecte de données : six étapes vers la réussite*. <https://www.ohrc.on.ca/fr/comptez-moi-collecte-de-donn%C3%A9es-relatives-aux-droits-de-la-personne/6-processus-de-collecte-de-donn%C3%A9es-%E2%80%93-six-%C3%A9tapes-vers-la-r%C3%A9ussite>
- Conseil canadien pour les ressources humaines en agriculture (CCRHA). (2024). *Serres, pépinières et floriculture : information et prévisions sur le marché du travail 2023-2030*. https://cahrc-ccrha.ca/sites/default/files/2024-02/Greenhouse%20%20nursery%20%26%20floriculture%20Factsheet_2024-FR.pdf
- Cornut, A.-S. (2024, 8 novembre). Les outils collaboratifs pour votre entreprise. *BeeDeez*. <https://www.beedeez.com/fr/blog/les-outils-collaboratifs-vers-une-collaboration-numerique-ultra-productive>
- Despommier, D. (2019). Les fermes verticales, un modèle d'agriculture en intérieur viable pour les villes. *Revue de l'Institut Veolia*, 68-73. <https://www.institut.veolia.org/sites/g/files/dvc2551/files/document/2019/09/68%20Les%20fermes%20verticales.pdf>
- Diongue, N. R. (2020, 25 mars). *Des outils numériques pour faciliter la collaboration et l'apprentissage en ligne en formule comodale*. Université Laval. <https://pedagogienumerique.chaire.ulaval.ca/blogues/des-outils-numeriques-pour-faciliter-la-collaboration-et-lapprentissage-en-ligne-en-formule-comodale>
- Ferme d'Hiver. (2024). *La technologie au service du maraîcher*. <https://www.fermedhiver.com/la-ferme-dhiver>
- Gamm Vert. (2024). *La lutte biologique avec les coccinelles*. <https://www.gammvert.fr/conseils-idees/la-lutte-biologique-avec-les-coccinelles>
- Gestion organisationnelle + ressources humaines (Go RH). (2023). *Taux de roulement : son importance et comment le calculer*. <https://gorh.co/calcul-taux-de-roulement>
- IBM. (2024). *Qu'est-ce que la gestion des connaissances?* <https://www.ibm.com/fr-fr/topics/knowledge-management>
- Innowise. (2022). *Jardin domestique intelligent pour faire pousser des plantes sans terre*. <https://innowise.com/fr/case/iot-agriculture-solutions>

- Institut Veolia. (2019). Agriculture urbaine : nourrir les villes autrement. *Revue de l'Institut Veolia*, 1-124. <https://www.institut-veolia.org/sites/g/files/dvc2551/files/document/2019/11/Agriculture%20urbaine%2C%20une%20revue%20de%20l%27Institut%20Veolia.pdf>
- Janvry, A., Emerick, K., Sadoulet, E. et Dar, M. (2015). L'adoption des technologies agricoles : quelles leçons tirer des expérimentations de terrain? *Revue d'économie du développement*, 23(4), 129-157. <https://doi.org/10.3917/edd.294.0129>
- Kanda, M., Akpavi, S., Wala, K., Djaneye-Boundjou, G. et Akpagana, K. (2014). Diversité des espèces cultivées et contraintes à la production en agriculture maraîchère au Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(1), 115-127. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i1.11>
- Laboratoire sur l'agriculture urbaine (AU/LAB). (2024). *Page d'accueil*. <https://www.au-lab.ca>
- Larouche-Tremblay, M., Ouellet-Plamondon, C. et Godbout, S. (2024). Gestion des connaissances et des innovations en production maraîchère traditionnelle : vers l'urbanisation des serres intelligentes. *Organisations & Territoires*, 33(2), 267-282. <https://doi.org/10.1522/revueot.v33n2.1811>
- Memmadi, M. (2019). *Réalisation d'une mini serre agricole connectée* [Maîtrise de mémoire]. Université Badji Mokhtar Annaba. <https://fr.scribd.com/document/546398302/Memmadi-Mehdi>
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ). (2021). *Guide de l'agriculture pour une agriculture proche des citoyens*. Gouvernement du Québec. <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/4569713>
- Myfood. (2024). *Serre connectée Myfood : l'agriculture urbaine durable et intelligente*. <https://myfood.eu/fr/serre-jardin/connectee>
- Oracle. (2024). *Définition de la gestion des connaissances*. <https://www.oracle.com/ca-fr/cx/service/knowledge-management/what-is-knowledge-management/#link8>
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2022). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2022*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f82c3fb7-d6f1-4111-b01f-dab0235525ec/content/sofa-2022/inclusive-adoption-environmental-sustainability.html>
- Ouadah, F. (2009). *Lutte biologique contre les pucerons* [Maîtrise de mémoire]. Université Abdelhamid Ibn Badis. <http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/13587/Lutte%20biologique%20contre%20les%20pucerons.pdf?sequence=1>
- Popote, D. (2023, 5 octobre). Les 5 étapes du cycle de knowledge management. *Mayday*. <https://www.mayday.fr/blog/cycle-knowledge-management>
- QuébecBio. (2022, 26 avril). *Le bio accentue ses gains de popularité au Québec!* <https://quebecbio.com/blogue/actualites/116/le-bio-accentue-ses-gains-de-popularite-au-quebec>
- Royer, A., de Marcellis-Warin, N., Peignier, I., Warin, T., Panot, M. et Mondin, C. (2020). *Les enjeux du numérique dans le secteur agricole : défis et opportunités*. CIRANO. <https://cirano.qc.ca/files/publications/2020RP-12.pdf>
- Thyma. (2024, 4 juin). *Les avancées technologiques dans le secteur agricole*.
- USU. (2024). *Qu'est-ce que la gestion des connaissances?* <https://www.usu.com/fr-fr/solutions/usu-knowledge-management/knowledge-management>

Annexe 1

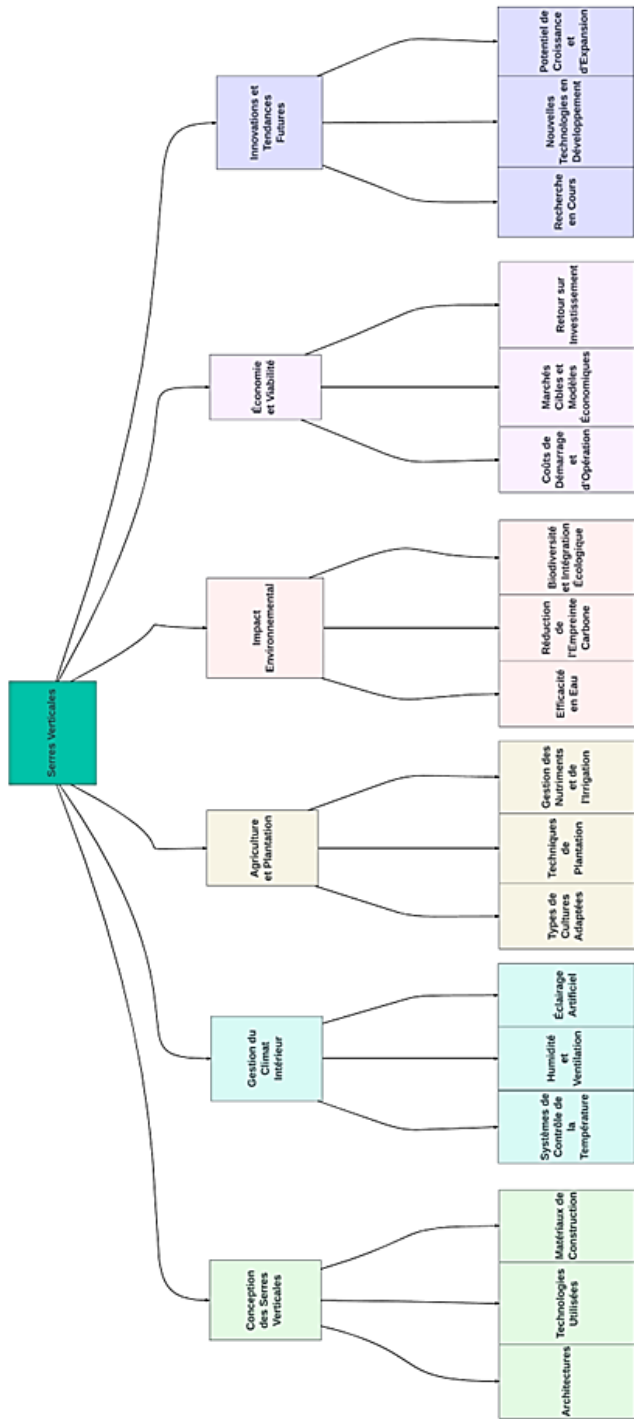


Figure 3 – Cartographie des connaissances sur les serres intelligentes

Annexe 2

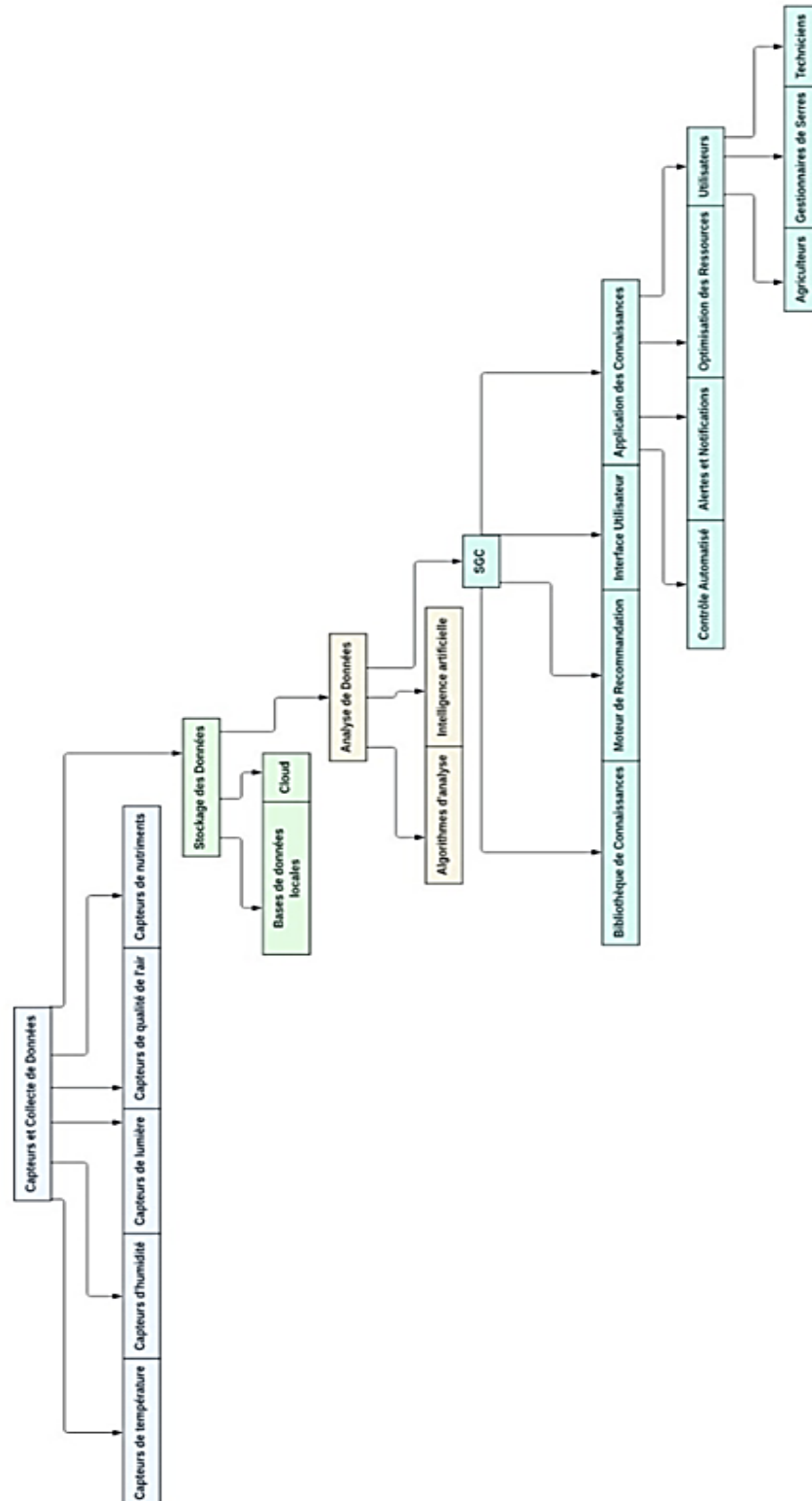


Figure 4 – Cartographie du SGC et système intégré des serres intelligentes