Organisations & Territoires

Volume 33 • nº 2 • 2024

Espace Libre

Gestion des connaissances et des innovations en production maraichère traditionnelle : vers l'urbanisation des serres intelligentes

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

DOI : https://doi.org/10.1522/revueot.v33n2.1811

RÉSUMÉ. L'agriculture est la pierre angulaire de toute société. Son importance est primordiale afin d'offrir des aliments de qualité à moindre coût. C'est d'ailleurs l'un des enjeux actuels de la société québécoise. La chaine logistique demande d'être revue afin de s'adapter à la nouvelle réalité. Les produits biologiques et locaux doivent être offerts en plus grande quantité et diversité. La province de Québec bénéficie d'innombrables ressources et avantages afin de permettre une expansion significative. Or, son été court et son hiver rigoureux, il faut repenser le modèle de culture afin de permettre de l'adapter au style de vie de la population. Rendre l'agriculture plus performante grâce aux nouvelles technologies devient la vision de bon nombre d'agriculteurs et de chercheurs. Afin d'offrir un modèle technologique duplicable et performant, il faut être en mesure de bien comprendre les paramètres environnants. Le contrôle de ces paramètres permettra de les recréer et de les adapter aux différents styles de vie sociétale. Le partage des connaissances et la collecte de données permettront une vision plus innovante de ces modèles, tout en respectant les méthodes traditionnelles adaptées à l'automaticien et à l'autonomie des systèmes programmables.

Mots clés : Agriculture intelligente, urbanisation, développement durable, technologie 4,0, modèle C-K, serres intelligentes

ABSTRACT. *Agriculture is the cornerstone of any society. Its importance is essential to offer quality food at lower costs. This is one of the actual challenges facing our society. The logistics chain needs to be reviewed to adapt to the new reality. Organic and local products must be offered in greater quantity and diversity. The province of Quebec benefits from countless resources and advantages to enable significant expansion. However, with its short summer and its harsh winter, we must rethink the cultivation model to adapt it to the lifestyle of the population. Making agriculture more efficient thanks to new technologies is becoming the vision of many farmers and researchers. To offer a duplicable and efficient technological model, we must be able to fully understand the surrounding parameters. Controlling these parameters will make it possible to recreate them and adapt them to different societal lifestyles. Sharing knowledge and collecting data will allow a more innovative vision of these models while respecting traditional methods adapted to the automation engineer and the autonomy of programmable systems.*

Key words: *Smart agriculture, urbanization, sustainable development, 4.0 technology, C-K model, smart greenhouses*

Introduction

L'horticulture maraichère est au centre du développement et de la consommation alimentaires de l'humain depuis sa création. Depuis l'arrivée de l'industrie 4.0 et de l'interconnexion entre les produits domotiques, l'agriculture verticale dans les villes est en pleine expansion : elle produit des fruits et des légumes superposés verticalement par de nouvelles

[a] M. Ing., École de technologie supérieure

[b] Professeure, ing., M. Sc., Ph. D., École de technologie supérieure

[c] Professeur, ing., agr., Ph. D., École de technologie supérieure

méthodes agricoles qui combinent la conception de bâtiments et de fermes dans un immeuble de grande hauteur à l'intérieur des villes. La culture en intérieur de produits végétaux n'utilise généralement pas la lumière du soleil, mais offre la capacité de contrôler l'environnement. Il est entre autres possible de paramétrer la chaleur, la lumière à l'aide de lampes à large spectre lumineux, l'humidité et le temps de cycle afin d'optimiser les récoltes.

Cette pratique agricole émergente, qui a commencé à se développer vers les années 2010, offre la possibilité d'introduire la production maraichère en milieu urbain. Grâce à des structures et à des bâtiments ayant des caractéristiques permettant d'aménager des jardins verticaux, des murs végétaux et des toits verts, un meilleur contrôle sur les intrants permet de configurer l'espace pour répondre aux besoins de croissance des cultures urbaines. Il y aurait près de 500 entreprises agricoles de culture intérieure dans le monde, dont la grande majorité est dédiée à la recherche; certains pays ont moins de 10 % de leurs exploitations agricoles qui sont à vocation commerciale (Cohen et Duchemin, 2021). Selon ce rapport du Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine (CRETAU), il y aurait au Canada environ 16 entreprises produisant en intérieur dans des structures contrôlées en 2020 et en 2021. Pour le Québec, il serait possible de compter 7 entreprises en activité et 2 en développement depuis 2021. En 2023, la plupart de ces entreprises sont en développement et agrandissent leurs espaces de culture. La figure 1 propose un agencement de culture verticale offrant des paramètres de croissance contrôlés.

Figure 1 – Serre verticale aux paramètres de croissance contrôlés (Montel, 2024)

Cette nouvelle réalité dans le domaine de la culture en serre contrôlée permet de regrouper le savoir et les techniques qui ont été utilisés à travers les années avec les nouvelles technologies de fine pointe pouvant mieux cerner les besoins de chaque type de production et d'espace. Il faut donc maitriser à la fois les techniques ancestrales en maraichage et les nouvelles technologies de l'industrie 4.0, tout en considérant l'espace disponible pour la culture dans les grandes villes. Selon Statistique Canada (2022), la population du pays augmentera de près d'un tiers, passant de 35,8 millions d'habitants actuellement à 46,9 millions en 2050. Cette croissance de population ainsi que les changements climatiques mettront à l'épreuve l'agriculture et l'approvisionnement alimentaire. Il faudra donc adapter le savoir acquis au fil du temps et allier les nouvelles technologies.

Aussi, les endroits critiques, par exemple les métropoles telles que Montréal, Vancouver et Toronto, se retrouvent avec un manque d'espace considérable, une population grandissante et des besoins en produits frais et variés plus importants qu'auparavant. Ces métropoles s'approvisionnent en

grande partie avec des légumes en provenance de la Californie, et ce, tout au long de l'année. L'autosuffisance n'est pas encore atteinte dans les grands pôles du Canada. Il faut savoir que la réduction de la consommation en viande rouge afin de réduire l'empreinte carbone et les tendances à la hausse vers un mode alimentaire plus végétal favorisent ce besoin de plus en plus important.

Le *Guide alimentaire canadien* (Santé Canada, 2019) propose une assiette plus végétale en optant pour des produits ayant une traçabilité plus saine et biologique. Selon un sondage mené pour l'Université Dalhousie en Nouvelle-Écosse, 17 % des Canadiens suivraient un régime alimentaire qui bannit la viande ou en réduit l'importance dans leur assiette (Dalhousie University, 2019). Les Québécois disent avoir diminué leur consommation de viande au cours des cinq dernières années (Léger Marketing, 2019). Au cours des cinq prochaines années, la consommation humaine de protéines d'origine végétale aura presque doublé (Protein Industries Canada, 2019).

Dans le même ordre d'idées, suivant les lectures précédentes effectués, le comportement des consommateurs par rapport à la protection de l'environnement et à la tendance écoresponsable s'est transformé et à évolué depuis la dernière décennie. Devant le choix d'adopter un comportement plus écologique les consommateurs, vont généralement choisir les options les plus avantageuses, écologiques et faciles d'atteinte (Steg et Vlek, 2009).

Pour pallier cette demande changeante, il faut repenser le modèle et les méthodes de culture en champ en utilisant des jardins qui optimisent l'espace urbain, par exemple les jardins verticaux et les toits verts ayant des sols conçus pour accueillir certaines cultures, dont la culture hydroponique (Fischetti, 2008). La culture urbaine dans les métropoles permettrait ainsi de répondre à un besoin en fruits et en légumes. À ce sujet, Besthorn (2013) discute des besoins grandissants dans le domaine des jardins verticaux.

L'objectif de notre article sera d'examiner le partage des connaissances ancestrales et des besoins afin d'intégrer les jardins verticaux et les toits verts dans les grandes villes dans le but d'optimiser les récoltes et d'atteindre l'autosuffisance en légumes et produits frais. Le partage des connaissances et l'innovation seront les axes de cette intégration.

Est-ce que l'intégration des technologies de l'industrie 4.0 constitue la meilleure solution pour changer le modèle et les méthodes d'horticulture maraichère en champ? Est-ce que l'ajout de jardins verticaux, de murs végétaux et de toits verts pourra répondre à une demande grandissante pour les végétaux? Devrions-nous opter pour l'intégration à long terme de ces structures afin de répondre aux nouveaux besoins de la population en favorisant l'autosuffisance agricole?

Pour l'instant, le domaine des jardins verticaux est très innovant et récent. En utilisant une théorie et un modèle de la gestion de l'innovation et de la créativité en maraichage, une analyse de la faisabilité du concept des jardins verticaux sera mise de l'avant. D'abord, la théorie C-K (*Concept-Knowledge*) en gestion des concepts est une approche qui met l'accent sur la gestion des connaissances et sur la génération de concepts. Elle peut être utilisée dans le cadre de la conception innovante. Ensuite, comme ajout à la théorie et aux modèles C-K, il est intéressant d'introduire la méthode ASIT (*Advanced Systematic Inventive Thinking* ou réflexion inventive systématique avancée) de Roni Horowitz repose sur la théorie de la conception et vise à améliorer le processus de conception en identifiant et en éliminant les contradictions dans le système.

Ces deux outils permettent de tracer des schémas sur le partage des connaissances et du savoir-faire qui prime dans une industrie qui a su redevenir la priorité d'une nouvelle génération d'humains. Est-ce que le concept et l'intégration de technologies innovantes des jardins verticaux pourraient répondre aux besoins futurs? Le contenu de cet article permettra de mettre en lumière le partage des connaissances et des acquis envers l'intégration de nouvelles technologies innovantes des serres de maraichage en environnement contrôlé.

1. Gestion et bonnes pratiques de l'agriculture au Québec

Comparativement à plusieurs champs d'expertise plus scientifiques, l'horticulture maraichère est

plutôt axée sur les connaissances intrinsèques du cultivateur. Dépendamment du secteur géographique, des températures et des sols, chaque province canadienne préconise certains types de cultures plus adaptés. Au Québec, les territoires offrent une forte vocation agricole (52 %), dont une grande proportion est utilisée principalement pour la culture du maïs, du soya et des céréales (Audet et collab., 2011). Aussi, au cours des 15 dernières années, le Québec a amélioré ses pratiques agricoles afin de respecter l'environnement, qui est au cœur du développement durable (UPA, 2021).

Au Québec, la richesse du sol et les conditions climatiques sont favorables uniquement pendant une période précise, soit l'été, et non tout au long de l'année, ce qui a des impacts sur l'autosuffisance annuelle. Cependant, cette période estivale et les sols riches permettent d'y produire plus de 70 espèces de légumes :

> Les principaux légumes de champ produits au Québec sont le maïs (20 %), les pois (10 %), les haricots (10 %), les laitues (10 %), la carotte (9 %), les choux (6 %), l'oignon (6 %), le brocoli (5 %) ainsi que d'autres légumes (25 %) comme la betterave. (Gouvernement du Québec, 2021)

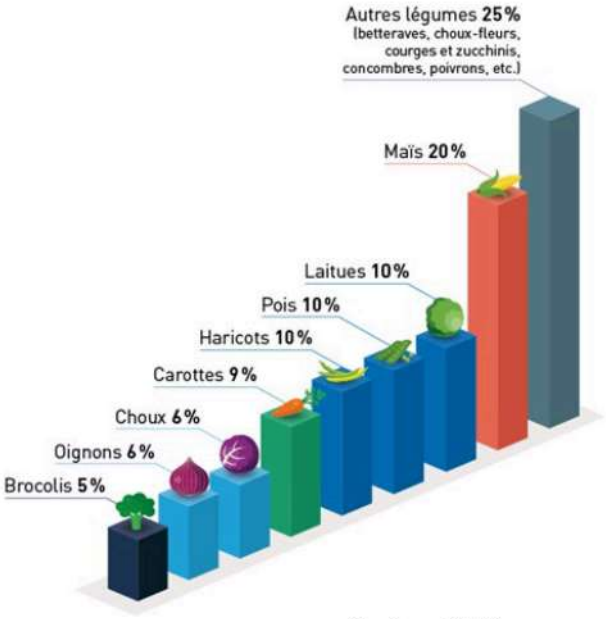

Figure 2 – Répartition des légumes cultivés au Québec (Gouvernement du Québec, 2021)

Au Québec, les principales régions productrices de légumes de champ, qui pourront servir de comparaison pour les jardins verticaux, se retrouvent surtout proches du fleuve Saint-Laurent. Ces emplacements, tels que la Montérégie (63 %) et les Laurentides (15 %), obtiennent des conditions climatiques favorables pour la culture en champ. La figure 3 démontre le positionnement et le pourcentage de ces régions.

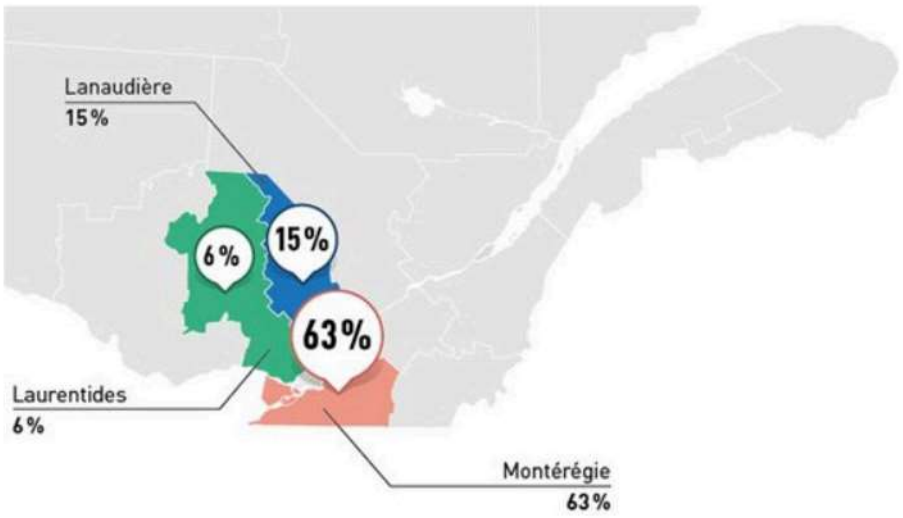

Figure 3 – Principales régions productrices de légumes de champ au Québec (Gouvernement du Québec, 2021)

Au 19e siècle, la révolution industrielle a touché principalement le domaine manufacturier, mais également l'agriculture. Puis, la révolution verte, de 1960 à 1990, a aussi eu des impacts importants sur l'agriculture (FAO, 1996). Cette période charnière de la société québécoise a marqué la venue de l'ère industrielle, qui a contribué à mécaniser l'agriculture et ainsi à augmenter les rendements et les superficies des cultures (Boutin, 2004).

Auparavant, l'agriculture québécoise reposait essentiellement sur les valeurs familiales et fonctionnait selon les connaissances acquises au fil des années (Dulude, P., Beaulieu, J. et Bourget, D., 2006). On constate entre autres qu'il y a des effets négatifs de ce changement sur la standardisation de la production. À cet effet, Dulude et ses collègues (2006), soulèvent que la production standardisée a permis d'augmenter les rendements et les volumens de production, mais qu'elle a également contribué à soulever quelques problèmes environnementaux.

En plus des problèmes environnementaux, il y a ceux liés aux pertes de connaissances intrinsèques des cultivateurs. Ces connaissances, qui ont évolué au fil des années grâce aux apprentissages et aux erreurs, sont devenues des formules standardisées qui ne représentent pas nécessairement la réalité de cette industrie, qui s'adapte à l'environnement interne et externe de la culture. Afin de pallier ces constats, les gouvernements ont décidé d'intervenir et de proposer des mesures visant à minimiser les impacts négatifs sur l'environnement (Boutin, 2004). Cette règlementation est toujours adaptée des politiques agroenvironnementales au Québec qui font la promotion d'une agriculture plus respectueuse de l'environnement, en proposant des pratiques qui contribuent au développement durable de l'agriculture (MAPAQ, 2005). Ces pratiques sont appelées *pratiques agroenvironnementales* ou, plus simplement, *bonnes pratiques* (MAPAQ, 2005). L'objectif est clair : favoriser l'adoption de bonnes pratiques agroenvironnementales par les producteurs agricoles (voir figure 4).

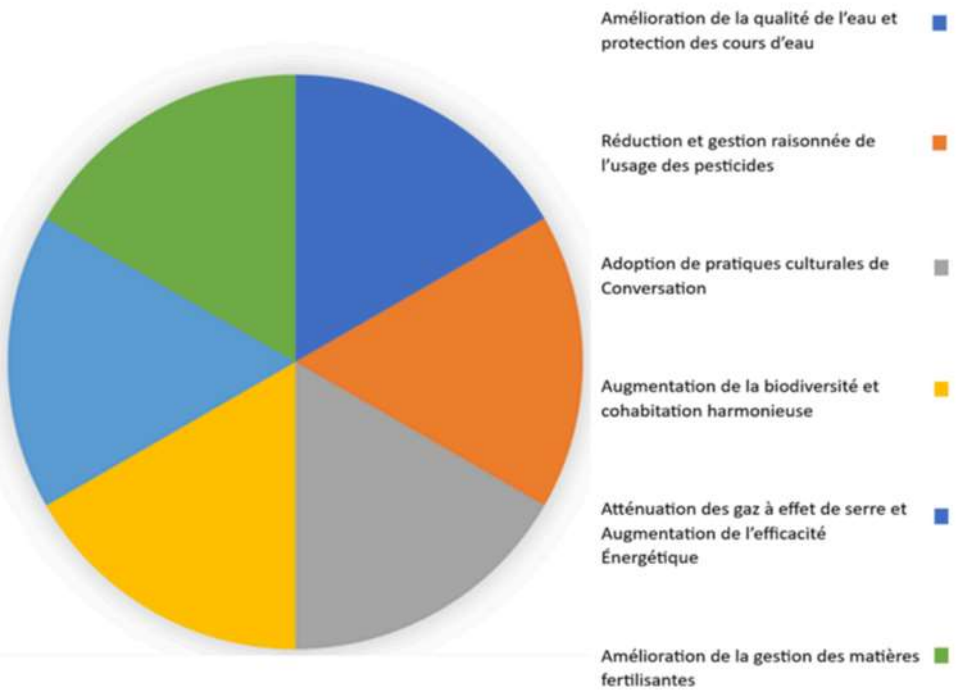

Figure 4 – Bonnes pratiques agroenvironnementales (Adapté de MAPAQ, 2005)

Suivant ces pratiques favorisant une agriculture plus écologique, on tente de démontrer l'importance des jardins verticaux dans l'optimisation de ces caractéristiques. Les jardins verticaux seraient-ils la solution afin de réduire la quantité d'eau utilisée pour cultiver des légumes sains? Les toits verts et les murs végétaux pourraient également éliminer toute trace de pesticides, tout comme le prônent les bonnes pratiques. Leur utilisation dans les métropoles permettrait d'augmenter la biodiversité et la cohabitation de l'agriculture dans des zones n'étant pas desservies généralement par ces types de production. L'efficacité énergétique et la réduction de l'empreinte carbone sont également des sujets mis de l'avant par l'innovation des jardins verticaux. Ces mesures ont donc été ciblées afin d'offrir une solution favorisant des impacts positifs à long terme de la culture des végétaux.

2. Théorie C-K et modèle de création des connaissances : un processus de gestion en situation dynamique

Lors d'une revue de la littérature sur le sujet du maraichage et de l'agriculture traditionnel, nous constatons que, depuis des siècles, ces secteurs d'activités reposent sur des notions d'apprentissage et de partage des connaissances. Pour la plupart des cultivateurs à travers le monde, l'expertise se transfère à l'échelle familiale, de génération en génération. Le savoir-faire repose sur des concepts de savoir intrinsèque qui regorgent de connaissances sur l'environnement interne et externe à la terre et aux paramètres de cultures. Ces paramètres font référence à la lumière, à la chaleur, à l'humidité, aux saisons, au terreau et à l'engrais, qui nécessitent tout un suivi en temps réel et un contrôle pointilleux.

Par ailleurs, la recherche en agronomie est importante afin de réduire les cycles de production et d'améliorer les récoltes. Il y a toutefois un besoin important d'intensifier la recherche dans ce type d'industrie. L'agriculture étant un service essentiel, il est pertinent d'approfondir les méthodes de travail. Les plantes, arbres et verdure nécessitent une attention particulière, du début de la plantation jusqu'à la récolte. Chaque spécimen requiert un dosage différent d'eau, de soleil et d'engrais. Par exemple, un cactus peut vivre plusieurs semaines, voire des mois sans eau. Si celui-ci est trop arrosé, il risque de perdre de la vivacité, ce qui peut mener à la mort (Chandra et collab., 2015, 2017). Afin de pouvoir contrôler la

standardisation de la croissance des plants, des légumes et des fruits, il faut impérativement comprendre adéquatement les besoins spécifiques de ces plants ainsi que les diverses variétés disponibles.

Concevoir et innover avec des serres et des jardins verticaux dans un contexte urbain pouvant optimiser la culture des végétaux demande beaucoup de recherche et d'analyse afin de trouver les bons paramètres de contrôle. La domotique programmable a pour objectif de réduire les temps de culture et ainsi de produire plus de lots de produits frais tout au long de l'année. La compréhension des paramètres de croissance ainsi que des besoins en substrats nécessaires à la culture est une pierre angulaire de la réussite de la production en lots de légumes afin de répondre à une demande grandissante.

Par chance, l'industrie de l'agriculture a beaucoup évolué avec l'arrivée de l'ère industrielle, ce qui a permis d'automatiser certaines portions de la production agricole, d'améliorer la qualité et d'augmenter la quantité de légumes à produire. Les jardins verticaux, les toits verts ainsi que les murs végétaux peuvent régler plusieurs problèmes reliés à ce type de production afin de répondre à une demande importante dans les métropoles. Ils mettent de l'avant l'autorégularisation des nutriments, la réduction de l'utilisation de pesticides ainsi que l'utilisation adéquate de l'eau et de la lumière. Ces territoires densément peuplés n'ayant pas l'espace nécessaire pour la culture maraichère – qui est généralement effectuée sur des hectares de terres –, ils pourraient bénéficier de ce type de production agricole.

2.1 La théorie C-K

Afin d'allier l'innovation menant à la génération d'idées, il faut miser sur les concepts innovants. La théorie C-K est tout à fait pertinente dans ce type d'analyse sectorielle, étant donné sa nature de partage des concepts et des connaissances. Cette théorie a vu le jour à MINES ParisTech, en France. Depuis 1996, de nombreux travaux empiriques ont permis de faire avancer la recherche spécialisée et les innovations technologiques dans différents domaines :

> Le corps de la théorie est consolidé avec Benoît Weil entre 1996 et 2003. Ces premiers travaux ont ensuite été enrichis et approfondis par Pascal Le Masson, Akin Kazakçi, Yoram Reich (Université de Tel Aviv) et Blanche Segrestin et beaucoup d'autres chercheurs, ce qui a permis l'essor théorique et pratique de la théorie C-K. (CK-theory.org, 2024, s. p.)

Avec l'arrivée des jardins verticaux, les changements reliés à l'identité de l'horticulture maraichère, du modèle d'affaires et des technologies permettant de recréer un environnement contrôlé font face à des innovations de rupture qui changent littéralement les paradigmes de la culture traditionnelle. Afin de soutenir l'innovation traditionnelle et d'ouvrir de nouveaux secteurs, il faut faire interagir les concepts et les connaissances acquis depuis toutes ces années afin de les moduler à un tout nouveau secteur d'activité. De fait, la théorie C-K repose sur le raisonnement des concepts afin d'imaginer un nouvel axe, soit pour les produits, les services, le processus ou les technologies. En plus d'expliquer et de mettre en lumière les raisonnements, la théorie C-K permet de fournir des mécanismes de génération d'idées afin d'enrayer les blocages cognitifs et d'augmenter la capacité à proposer des idées innovantes.

Dans ce contexte actuel de mondialisation, les métropoles ont un besoin urgent d'adaptabilité et d'accessibilité à des légumes frais, tout en réduisant l'empreinte carbone et l'importation de produits et tout en améliorant les axes reliés à l'écoresponsabilité. Les métropoles telles que Montréal ont un manque criant d'espace. Pouvoir installer des jardins verticaux et des toits verts dans des immeubles de logements en copropriété, des entreprises ou directement dans les marchés d'alimentation et les restaurants permettrait des impacts positifs et significatifs sur l'environnement durable.

À l'aide de la théorie C-K, il serait possible de définir une phase fonctionnelle afin de détailler les paramètres et la modélisation du besoin en horticulture maraichère dans les métropoles à travers le monde. La phase de définition conceptuelle pourrait préciser les principes physiques potentiellement retenus pour répondre aux exigences des jardins verticaux. À la suite de ces deux phases, il serait

possible de préciser les éléments physiques et organiques pour répondre à la requête initiale. La définition détaillée qui en serait la résultante décrirait les interactions entre les besoins et l'apport des jardins verticaux.

À l'heure actuelle, le domaine agricole est poussé à accélérer le renouvellement des produits de légumes frais. Il faut proposer des innovations de rupture qui changeraient littéralement la façon de produire telle que nous le faisions. L'innovation de rupture remet précisément en question les éléments qui restent traditionnellement stables lors de processus d'optimisation et qui constituent ce que nous appelons l'identité des objets.

L'identité des objets offre un regard sur les valeurs de l'industrie (familiale et soucieuse de l'environnement), sur les fonctions, les modèles et les bonnes pratiques, sur les outils ainsi que sur les compétences, pour ne nommer que ceux-ci. Il faut savoir que ce type d'innovation est déjà présent dans plusieurs secteurs d'activité (p. ex., les médias, le marketing ainsi que les produits et services). Pour utiliser la théorie C-K, l'interaction entre les domaines de l'agriculture standard et du maraichage telle que nous la connaissons devra avoir lieu entre deux espaces distincts, soit l'espace C (pour *concept*) et l'espace K (pour *knowledge* ou connaissances).

L'espace C prend en considération toutes les possibilités qui sont proposées dans le domaine à l'étude, soit l'horticulture maraichère :

> Selon la théorie C-K, le C permet d'imaginer et d'explorer de nouveaux concepts qui semblent parfois farfelus, impossibles, voire insensés. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, cet espace est très structuré: les idées sont décomposées et représentées sous la forme d'un arbre des concepts. (CK-theory.org, 2024, s. p.)

L'espace K, qui regroupe les connaissances établies au fil des années, est l'endroit :

> Où l'on range toutes les connaissances sur lesquelles on s'appuie ou dont on a besoin pour imaginer un nouveau concept. Car une nouvelle idée ne sort pas de nulle part : c'est une combinaison de choses que l'on sait, que l'on a vues, lues ou entendues. (CK-theory.org, 2024, s. p.)

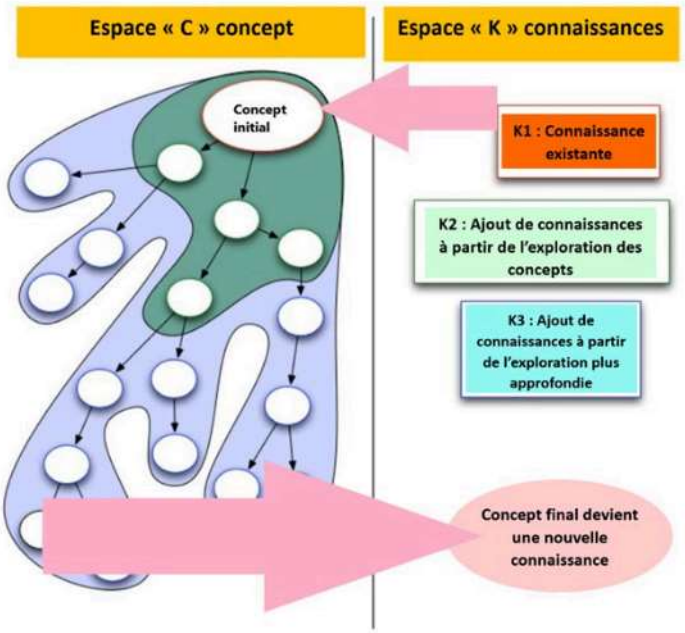

Figure 5 – Schéma de la théorie C-K (Adapté de Rapid innovation in Digital Time, 2011)

2.1.1 Les enjeux reliés à l'agronomie et au maraichage par le partage des connaissances

Plusieurs enjeux ont été soulevés depuis le début de cet article. Historiquement, l'agriculture est un domaine d'application reposant sur les bonnes pratiques et sur la passation intergénérationnelle du savoir. C'est seulement vers la fin du 20e siècle que l'agriculture est devenue, en France, une sphère nécessitant de la recherche afin d'optimiser les récoltes. Depuis cette période charnière, des besoins plus précis ont été soulevés en lien avec le contrôle de qualité des récoltes et les quantités produites afin de desservir une plus grande population. Les enjeux énergétiques, climatiques et sociétaux ainsi que le domaine de l'agronomie nécessitent une mise à jour importante sur les méthodes de production. Il est également important de mentionner qu'à cela s'ajoute un besoin important dans le processus des communications et de partage du savoir intrinsèque vers une nouvelle génération Compagnone, C. et al. (2015) mentionne que seule une minorité d'agriculteurs et de maraichers propose une communication des connaissances entre les experts, les chercheurs et les praticiens de façon efficace. Il reste une grande portion de cette population qui travaille de façon autonome sans partage de connaissances.

Il est donc primordial d'améliorer la communication et d'offrir une plateforme plus étoffée entre les chercheurs et les agriculteurs afin d'améliorer les connaissances et l'innovation. En favorisant le dialogue grâce à des plateformes d'échange simples, il serait possible d'améliorer l'efficacité de la production, d'augmenter le niveau technologique ainsi que d'offrir des processus et des procédés plus innovants. Selon Chevassus-au-Louis (2006), le service d'expertise devrait proposer une nouvelle connexion afin d'attirer les producteurs dans les grands centres et les métropoles dans le but d'offrir une meilleure gestion des connaissances technico-économiques pour répondre aux besoins sur le terrain.

La recherche participative des cultivateurs permettrait ainsi une approche innovante et aiderait tous les types de productions à générer du nouveau savoir. En créant des liens forts entre les chercheurs, les étudiants et le domaine agricole, il serait possible de réaliser, grâce à la théorie C-K, un partage de connaissances pouvant mettre en valeur les nouvelles technologies disponibles pour maximiser les récoltes et offrir une culture dans un contexte urbain.

2.1.2 L'application de la théorie C-K en maraichage

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le secteur de l'horticulture maraichère allie les fondements intrinsèques et tacites des cultivateurs, qui perfectionnent leurs techniques depuis plusieurs siècles. Puisque la culture standard traditionnelle se fait sur des acres de terrain, ce qui nécessite de l'espace et un environnement propice à la culture (eau, soleil, vent et saisonnalité), ces paramètres extérieurs ambiants sont recréés en métropole dans des serres à environnement contrôlé. Cependant, ces serres nécessitent elles aussi beaucoup d'espace. Or, les métropoles s'étendent d'année en année. Le manque d'espace se fait donc ressentir et il faut repenser les façons de faire afin d'adapter le maraichage pour que celui-ci soit urbain.

En prenant moins d'espace et en permettant de s'adapter à toute forme de structure, les jardins verticaux pourraient être la solution la plus envisageable pour l'amélioration de la qualité des légumes cultivés, l'abondance et une culture plus écoresponsable. Afin d'innover et de permettre à ce domaine de se réinventer, il faut réaliser des interactions entre l'espace C et l'espace K. Lorsqu'il est temps d'imaginer quelque chose d'innovant, il faut générer de nouveaux concepts et les relier aux connaissances déjà acquises dans le domaine d'application. Ces deux espaces sont complémentaires et se nourrissent mutuellement. Une nouvelle connaissance génère de nouveaux concepts et offre de nouvelles connaissances à acquérir. La théorie C-K est plus particulièrement utilisée dans les domaines de recherche tels que l'exploration de données (*data mining*) et la gestion des connaissances. Il est donc pertinent de vouloir extrapoler cette théorie au domaine maraicher, qui requiert une attention particulière pour faire avancer les connaissances et les innovations.

Au cours des dernières années, la théorie C-K a été utilisée de façon traditionnelle par le biais d'une approche participative et d'expérimentations entre

les domaines de la recherche et de l'agriculture. Il serait aussi possible de faire travailler des groupes communautaires afin de répondre à plusieurs enjeux dans l'urbanisation de l'agriculture. L'approche qui a été développée en urbanisme à l'Université de Montréal a cherché à intégrer cette formulation théorique en la combinant à d'autres éléments, notamment théoriques et thématiques (p. ex., l'urbanisme, l'économie circulaire), méthodologiques (p. ex., la prospective stratégique et l'analyse morphologique) et pratiques (p. ex., l'application à un territoire donné) au sein d'une même activité d'atelier d'apprentissage par la pratique (*learning by doing*). Cette approche pédagogique met l'accent sur l'apprentissage pratique et sur l'expérience directe, plutôt que sur l'apprentissage théorique ou passif. L'adaptation de ce type de méthode dans l'apprentissage proposé par un atelier d'urbanisme pose au moins deux défis : Comment implanter une phase de conception innovante dans la boîte à outils de l'urbanisme? Et comment passer de la conception d'objets urbains inconnus à celle de solutions innovantes territorialisées?

Enfin, l'utilisation de la théorie C-K afin de générer des concepts innovants pour répondre aux besoins de l'urbanisation du maraichage dans les métropoles suscite quelques questions. Afin de pouvoir analyser adéquatement cette expérimentation auprès des chercheurs et des cultivateurs, il faut établir une relation à long terme, qui se divise en deux portions. Premièrement, il faut déterminer une approche pédagogique détaillée qui implique le savoir théorique sur les concepts et les connaissances en maraichage, et qui est reliée à une démarche opérationnelle. Ensuite, il est impératif de combiner de nombreuses interactions et du suivi entre les membres de l'équipe de partage de connaissances. Il est possible de caractériser un atelier en trois niveaux : l'organisation spatio-temporelle, les activités pédagogiques et les soubassements épistémologiques.

La question doit explorer l'hypothèse reliée aux résultats obtenus dans l'atelier et la collaboration à long terme entre les personnes participantes; les concepts innovants en urbanisation de l'horticulture maraichère pour les métropoles qui peuvent être interprétés comme des pistes de solution; et la mise en relation des possibilités d'intégration du maraichage comme concept d'urbanisme et de développement durable ainsi que les difficultés d'une démarche innovante adaptée aux situations de design en urbanisation. Les jardins verticaux et les toits verts deviendraient une conception élaborée de ces solutions proposées dans un atelier de type laboratoire. Un avantage d'une telle collaboration est le développement d'une démarche potentielle permettant d'ouvrir la voie vers de futurs concepts innovants, autant d'un point de vue technologique que durable ainsi que pour la rentabilité de ces installations et la facilité d'implantation.

2.2 Le modèle de création de connaissances organisationnelles

Dans la démarche proposée, les figures 6 et 7 démontrent les liens étroits entre les connaissances tacites et explicites que les chercheurs, étudiants et maraichers établiront afin d'externaliser leur savoir. Le modèle de création des connaissances organisationnelles de Nonaka et Takeuchi (1997) permet de réaliser une distinction dans le partage de connaissances tacites et explicites.

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 maraichage, 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 maraichage, elles font référence aux connaissances du contrôle des paramètres extérieurs tels que l'humidité, la chaleur, le soleil et les substrats.

Le modèle de Nonaka et Takeuchi favorise le partage des connaissances dans quatre conversions de la connaissance essentielle à la compréhension des fondements de la culture. Il est impératif de pouvoir utiliser ces aspects afin d'assurer le partage des connaissances vers l'urbanisation du maraichage. La matrice présentée en figure 6 peut être divisée en quatre sections, qui détaillent les relations continues de l'apport du modèle de création des connaissances organisationnelles de Nonaka et Takeuchi.

Figure 6 – Matrice des conversions des connaissances tacites et explicites de Nonaka et Takeuchi (Adapté de Soula, 1997)

D'abord, la socialisation permet de convertir le savoir tacite en tacite. Selon Nonaka et ses collègues (1996), la socialisation représente un processus où les individus ajustent leurs interactions, s'intègrent à une culture commune et partagent des expériences au sein d'un groupe ou d'une communauté de pratiques. Ce processus s'effectue principalement par l'observation, tant consciente qu'inconsciente, et par l'imitation des savoir-faire, sans nécessiter l'utilisation d'un langage formel ou d'une codification spécifique.

L'externalisation (ou formalisation) permet de convertir le savoir tacite en explicite afin d'exprimer les savoir-faire pour partager une réflexion collective.

La figure 7 ci-dessous, présente les quatre phases de création des connaissances organisationnelles :

1. *La socialisation* : Les experts en maraichage avec les chercheurs doivent convertir le tacite en tacite en ajustant les intersubjectivités et l'intégration culturelle ainsi que le partage d'expériences, au sein d'un groupe ou d'une communauté de pratique. Cette étape peut se faire en socialisation ou par l'observation.
2. *L'externalisation (ou formalisation)* : Cette phase permet de convertir le tacite en explicite afin de désigner les savoir-faire en pratique duplicable. L'objectif est de réaliser une réflexion collective reliée aux besoins d'adapter le maraichage à l'expansion des métropoles afin de mieux desservir une population grandissante.
3. *La combinaison :* Cette phase de la matrice propose l'utilisation de deux connaissances explicites vers un langage commun pour réaliser une approche de savoir analytique et plus codifiée afin de générer des connaissances.
4. *L'internalisation :* Elle permet de convertir l'explicite en tacite. C'est le phénomène d'apprentissage qui se fait entre les experts cultivateurs et les chercheurs. Il est possible par la suite d'enrichir la recherche afin de proposer des modèles de jardins pouvant s'adapter aux métropoles.

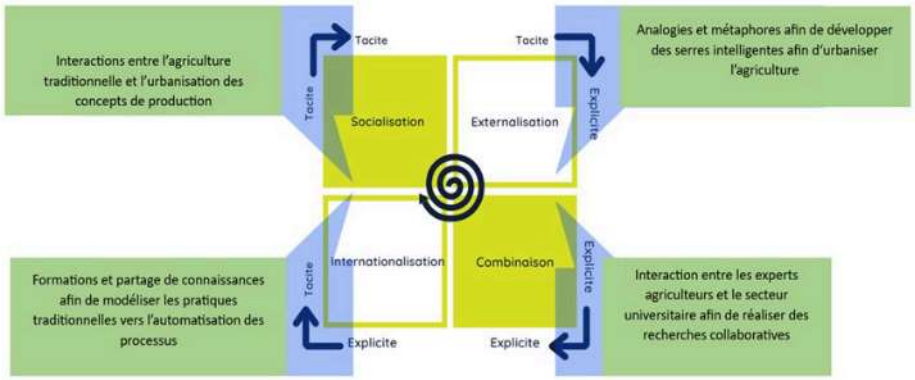

Figure 7 – Matrice des phases de création des connaissances tacites et explicites au maraichage urbain de Nonaka et Takeuchi (Adapté de PMI Québec, 2022)

En plus de favoriser le flux de messages et de collaborations, la méthode de Nonaka et Takeuchi permet de créer des connaissances permettant d'optimiser et d'améliorer ce secteur d'activité, qui suit l'évolution de la race humaine depuis son commencement. Dans une approche de collaboration entre les domaines du maraichage et de l'éducation, il serait possible de favoriser le partage des connaissances en créant des liens entre les différents pôles de recherche institutionnels et le secteur agricole. Les établissements de recherche sont principalement situés à l'intérieur de grandes villes ou de métropoles. Dans le contexte québécois, Montréal offre une large gamme de formations universitaires qui favorisent la méthode de Nonaka et Takeuchi avec la matrice des connaissances tacites et explicites.

Les jardins verticaux doivent être analysés afin de mieux comprendre les paramètres technologiques de contrôle interne et externe de jardins verticaux, de toits verts ou de murs végétaux intégrés à l'intérieur de commerces dans un contexte urbain et pouvant servir de produits frais directement à leur clientèle. En socialisant et en partageant le savoir des experts maraichers, il serait possible de mieux comprendre certaines pratiques de culture purement intrinsèques ayant évolué au fil des années selon les apprentissages de ces cultivateurs. Certaines méthodes ont été partagées de génération en génération, d'autres ont dû être adaptées aux changements climatiques et à la géolocalisation des terrains cultivables.

3. Discussion

Dans cet article, notre objectif était de soulever les besoins de partage des connaissances et de gestion du savoir (ou management des connaissances) dans le domaine de l'agriculture au Québec et au Canada. Cette gestion du savoir est la pièce maitresse de l'élaboration d'un plan menant à améliorer les méthodes et la conception des serres urbaines afin de répondre aux défis de la mondialisation. Au moment de mener notre recherche, le domaine de l'horticulture maraichère était moins défini par des modèles analytique et systémique que d'autres secteurs de travail. Ce constat vient de la fonction principale de l'agriculture, qui est un modèle de subsistance qui s'améliore au sein d'une communauté, d'une famille ou d'une région. La principale cause est reliée aux méthodes ancestrale et traditionnelle, qui proposent un partage des connaissances des cultivateurs vers la nouvelle génération. Les liens institutionnels pourraient être renforcés afin de pallier des problèmes futurs dus entre autres à l'agrandissement des villes et à la mondialisation. Le manque d'espace est aussi un problème considérable, surtout dans les métropoles, alors que les consommateurs désirent des produits frais qui réduisent l'empreinte carbone.

La technologie déjà présente dans l'agriculture sous forme de capteurs de contrôle, de débiteurs, d'automatisations diverses (p. ex., la traite laitière), pour ne nommer que ceux-ci, continue d'évoluer et propose désormais des modèles de jardins autonomes et modulables qui s'ajustent à toute structure de bâtiment. Ce type de technologie pourrait répondre à un besoin précis d'offre et de demande de produits frais et écoresponsables dans les métropoles tout au long de l'année, y compris en hiver.

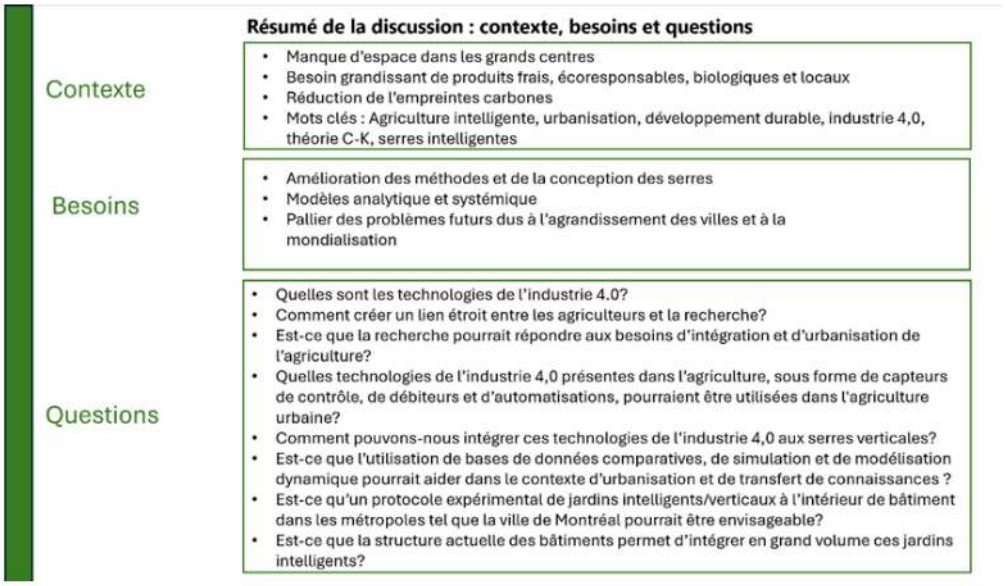

Figure 8 – Tableau récapitulatif de la discussion sur l'analyse de l'agriculture urbaine

Limites

Il y a quelques limites à ce travail, dont l'analyse du partage des connaissances dans les domaines de l'agronomie et du maraichage. La revue de littérature est bien présente et comporte de nombreux ouvrages. Cependant, la plupart font référence aux paramètres de croissance, à la chimie et à la biologie des plantes, mais ne reflètent pas le partage des connaissances, qui est peu ou presque non modifiable. Il serait intéressant de se pencher sur l'évolution des technologies au cours des dernières années en agriculture. Il serait alors possible de voir comment intégrer ces technologies. Il semble qu'à l'heure actuelle l'expertise des cultivateurs et leur compréhension profonde de leurs cultures seraient la source de cette connaissance. Bien que de plus en plus d'universités et de regroupements fassent désormais partie du protocole de recherche, il serait pertinent d'approfondir le lien étroit entre les experts agricoles et les différents domaines de recherche pouvant aider à améliorer et à optimiser ce type de production.

Pistes de recherche

La revue de littérature propose des questions en lien avec ce domaine d'expertise d'un point de vue de la recherche, des travaux et de l'intuition qui s'inspire de la conception, qui est l'une des prémisses des méthodes soulevées aujourd'hui. La technologie des jardins verticaux pour la consommation domestique en mode urbain dans les métropoles commence tout juste à se développer. Les toits verts sont généralement utilisés comme îlot de fraicheur ou petit parc. Certains commerces disposent actuellement des jardins verticaux pour les légumes frais mis en vente directement à la clientèle. Afin de rendre ces recherches optimales, l'expertise doit être disponible, puis les processus (p. ex., la validation, le prototypage et les essais) doivent être partagés entre l'industrie canadienne et les départements de recherche. Cette collaboration permettrait de mettre en marche un travail de conception et de développement de conception réglé et paramétré (Soulignac, V., et al. 2012). L'utilisation de bases de données comparatives, de simulation et de modélisation dynamique jouerait un rôle important dans la prise décisionnelle dans un contexte d'urbanisation et de transfert de connaissances. Ces dispositifs d'évaluation seraient en fait le fil conducteur entre les experts cultivateurs et les chercheurs voulant développer de nouvelles caractéristiques de l'agriculture traditionnelle. La théorie C-K et le modèle de création des connaissances organisationnelles offriraient une base de connaissances étoffée permettant de réaliser une cartographie des connaissances. Celles-ci seraient ajoutées dans un protocole expérimental afin de mettre à l'essai les jardins intelligents à l'intérieur de bâtiments dans les métropoles (p. ex., la ville de Montréal).

À court et à moyen long terme, il serait pertinent de calculer et de quantifier les gains possibles liés à ces structures innovantes. Une analyse du coût de revient de l'intégration de l'horticulture maraichère verticale permettrait de comparer les diverses possibilités. Une analyse de rentabilité permettrait aussi de valider la viabilité de ces technologies en prévision d'une augmentation du nombre d'habitants par ville au cours des prochaines décennies. Il faudrait mettre en place un système afin de paramétrer les temps de cycle proposés par ces jardins urbains.

D'autres questions s'ajoutent à cette réflexion. Est-ce que la structure actuelle des bâtiments permet d'intégrer en grand volume ces jardins intelligents? L'humidité, la chaleur et la ventilation sont des paramètres cruciaux pour la culture, mais également pour les bâtiments eux-mêmes. Comment est-il possible de les intégrer dans les grands immeubles de bureaux, dans les copropriétés résidentielles et sur les toits des magasins à grande surface?

Conclusion

Notre recherche, appuyée d'une revue de la littérature, nous permet de constater et d'affirmer que les jardins intelligents, qu'ils soient verticaux, muraux ou disposés sur des toits, seront le changement le plus important dans l'industrie de l'agriculture. Ils permettront de changer la géolocalisation, de rendre ce domaine plus accessible en les incorporant dans l'urbanisation des grandes villes et d'offrir de nouveaux endroits de production agricole urbaine.

Les cultivateurs seront peut-être plus nombreux à s'intéresser par ce domaine dit traditionnel qui tente de se moderniser. Au lieu d'avoir des hectares de terres en bordure de l'eau dans des endroits isolés, les cultivateurs pourront le faire à l'intérieur de grandes villes urbaines. De plus, sachant que les universités sont principalement situées dans les métropoles, le lien entre les chercheurs et les experts cultivateurs pourra également être renforcé par la proximité de ces acteurs importants dans l'évolution de cette production.

Ce domaine innovant méritera une attention particulière au cours des prochaines années. Il sera un des changements environnementaux et technologiques qui permettront d'améliorer l'environnement à grande échelle en réduisant l'empreinte carbone, d'offrir des légumes écoresponsables frais directement dans les infrastructures résidentielles et commerciales, et d'atteindre l'autosuffisance agricole. Nous souhaitons éventuellement analyser différents modèles de gestion des connaissances de façon plus spécifique pour les serres verticales. Il nous sera alors possible d'en collecter des données afin de quantifier la rentabilité et d'analyser l'intégration des technologies de fine pointe pour augmenter la performance des cultures.

RÉFÉRENCES

Audet, G., Blackburn, F., Sullivan, A., Sarr, J.-B. et Lapointe, M.-C. (2011). *Portrait du bassin versant de la rivière Châteauguay, Sainte-Martine (Québec).* Société de conservation et d'aménagement du bassin de la rivière Châteauguay.

Besthorn, F. (2013). Vertical farming: Social work and sustainable urban agriculture in an age of global food crises. *Australian Social Work, 66*(2), 187-203. https://doi.org/10.1080/0312407X.2012.716448

Boutin, D. (2004). *Réconcilier le soutien à l'agriculture et la protection de l'environnement.* Ministère de l'Environnement du Québec, gouvernement du Québec. https://www.environnement.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/publi/tendance-perspect.pdf

Chandra, S., Lata, H., Elsohly, M., Walker, L. et Potter, D. (2017). Cannabis cultivation: Methodological issues for obtaining medical-grade product. *Epilepsy & Behavior, 70*(B), 302-312. https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2016.11.029

Chandra, S., Lata, H., Mehmedic, Z., Khan, I. A. et Elsohly, M. (2015). Light dependence of photosynthesis and water vapor exchange characteristics in different high Δ^9-THC yielding varieties of Cannabis sativa L. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2*(2), 39-47. http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.03.002

Chevassus, B. (2008). *"La biodiversité : un nouveau regard sur la diversité du vivant."* Cahiers Agricultures, 17, 303-313. https://www.researchgate.net/publication/334907675_La_biodiversite_un_nouveau_regard_sur_la_diversite_du_vivant

CK-theory.org. (2024). *C-K, c'est quoi?* https://www.ck-theory.org/la-theorie-ck

Cohen, A. et Duchemin, E. (2021). *Fiche économique : production maraîchage urbaine en intérieur dans une structure bâtie.* Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine (CRETAU).

Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois (CAAAQ). (2007). *Mandat de recherche : les bonnes pratiques agroenvironnementales – Fiche de travail : les bonnes pratiques agroenvironnementales.* Gouvernement du Québec. http://www.caaaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/Mandats%20etude/Helene%20Perrault%20Bonnes%20pratiques.pdf

Compagnone, C., Hubert, B., Lasseur, J., Le Guen, R. et Mathieu, J. (2015). *Connaissances et systèmes de pensée des agriculteurs L'actualité de l'approche de Jean-Pierre Darré.* https://hal.inrae.fr/hal-02793633

Dalhousie End-Of-Year Survey. (2019) *Laboratoire de Sciences Analytiques en Agroalimentaire* https://cdn.dal.ca/content/dam/dalhousie/pdf/sites/agri-food/Dalhousie%20End-Of-Year%20Survey%202019%20FR.pdf

Dulude, P., Beaulieu, J. et Bourget, D. (2006). *Plan de conservation des milieux humides et de leurs terres hautes adjacentes : région 16 – Montérégie.*CanardsillimitésCanada. https://www.ducks.ca/assets/2021/01/prcmh_r16_mont_2006_portrait_texte.pdf

Fischetti, V. (2008). Bacteriophage lysins as effective antibacterials. *Current Opinion in Microbiology, 11*(5), 393-400. https://doi.org/10.1016/j.mib.2008.09.012

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1996, novembre). *Les leçons de la révolution verte : vers une nouvelle révolution verte.* Sommet mondial de l'alimentation, Rome (Italie). http://www.fao.org/docrep/003/w2612f/w2612f6a.htm

Gouvernement du Québec. (2021). *Agriculture, environnement et ressources naturelles.* https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/politique-bioalimentaire/agriculture-durable

Léger 360. (2019). *Au cours de la dernière semaine, avez-vous mangé de la viande ?* https://leger360.com/fr/sondages/au-cours-de-la-derniere-semaine-avez-vous-mange-de-la-viande/

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ). (2005). *Bonnes pratiques agroenvironnementales pour votre entreprise agricole* (2e éd.). Gouvernement du Québec. https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Agroenvironnement/BonnesPratiques2005.pdf

Montel. (2024). *Système de culture verticale pour légumes-feuilles et verdurettes.* https://www.montel.com/fr/applications/systemes-de-culture-verticale-pour-legumes-feuilles-et-verdurettes

Nonaka, I. et Takeuchi, H. (1997). *La connaissance créatrice : la dynamique de l'entreprise apprenante.* DeBoeck Université. http://www.sietmanagement.fr/wp-content/uploads/2016/04/nonakatakeuchi.pdf

Nonaka, I., Umemoto, K. et Senoo, D. (1996). From Information Processing to Knowledge Creation: A Paradigm Shift in Business Management. *Technology in Society*, 18, 203-218.

Project Management Institute, Lévis-Québec, (2022) *Les étapes de la gestion des connaissances dans un bureau de gestion de projet (PMO).* https://pmiquebec.qc.ca/etapes-gestion-connaissances-dans-bureau-gestion-projet/

Protein Industries Canada. (2018-2019). *Rapport Annuel.* https://www.proteinindustriescanada.ca/uploads/2019-Annual-Report-tef.pdf

Rapid Innovation in Digital Time, (2011). *Innovative Design: creating unknown objects* https://nbry.wordpress.com/2011/05/12/innovative-design-how-to-create-unknown-objects/

Santé Canada. (2019). *Guide alimentaire canadien.* Gouvernement du Canada. https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/services/canada-food-guide/resources/stakeholder-toolkit/canada-food-guide-presentation-fra.pdf

Statistique Cananda. (2022) *Projections démographiques pour le Canada (2021 à 2068), les provinces et les territoires (2021 à 2043)* https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/91-520-x/91-520-x2022001-fra.htm

Soula, O. (2016). *La théorie de la création de connaissances organisationnelles de Nonaka.* SI & Management. http://www.sietmanagement.fr/wp-content/uploads/2016/04/nonaka_diapo.pdf

Soulignac, V., Ermine, J.L., Paris, J.L., Devise, O. et Chanet, J.P. (2012). *"A knowledge management system for exchanging and creating knowledge in organic farming." The Electronic Journal of Knowledge Management 10.* https://hal.inrae.fr/hal-02595624

Steg, L. et Vlek, C. (2009). Encouraging pro-environmental behavior: An integrative review and research agenda. *Journal of Environmental Psychology, 29*(3), 309-317. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.10.004

Union des producteurs agricoles (UPA). (2021). *Le pouvoir de se nourrir : mémoire présenté par l'Union des producteurs agricoles à la Commission des transports et de l'environnement.* https://www.upa.qc.ca/fileadmin/upa/nouvelles/DOC-EXT-UPA-Memoire-PL102-231121.pdf