

Carrefour de recherche, d'expertise
et de transfert en agriculture urbaine

CRETAU



FICHE TECHNIQUE ET ÉCONOMIQUE

Production maraîchère urbaine en serre sur toit ou au sol

Le Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine (CRETAU) est porté par le Laboratoire sur l'agriculture urbaine (AU/LAB). AU/LAB est un espace de recherche, de formation, d'innovation et d'intervention sur les thèmes de l'agriculture urbaine et de l'alimentation. Organisme à but non lucratif, le laboratoire est un lieu d'action et de réflexion national et international sur l'urbanité et l'alimentation. S'appuyant sur une large expertise et plus de 10 ans d'expérience, AU/LAB assure l'émergence de propositions, d'initiatives et d'entreprises portant autant sur la production et la transformation que sur la distribution et la mise en marché de l'agriculture urbaine. Le laboratoire agit dans une perspective de participation au développement d'un système alimentaire urbain, d'un urbanisme viable et d'une économie circulaire au sein des villes.



1401 Rue Legendre Ouest, Bureau 305
Montréal, Québec
H4NX 2R9
cretau.ca
au-lab.ca

RÉDACTION ET RECHERCHE

Rose Seguin, Agronome

Conseillère agronomique, Production en environnement contrôlé

Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine du Québec

Laboratoire sur l'agriculture urbaine

Adeline Cohen

Coordinatrice du volet économique et services écosystémiques

Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine du Québec

Laboratoire sur l'agriculture urbaine

Marie-Josée Vézina, Agronome

Coordinatrice du volet agronomique

Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine du Québec

Laboratoire sur l'agriculture urbaine

DIRECTION

Éric Duchemin

Directeur scientifique

Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine du Québec

Laboratoire sur l'agriculture urbaine

REVISIONS

Mahmoud Ramadan, Agronome

Conseiller en serriculture et en agriculture urbaine

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction régionale de la Montérégie

Martine Dorais

Chaire de recherche en horticulture sous serres et en environnement contrôlé

Science de l'agriculture et alimentation, Département de phytologie, Université Laval

Pour citer de texte

Seguin, R., A. Cohen, M-J. Vézina, et E. Duchemin (2021). Fiche technique et économique : production maraîchère urbaine en serre sur toit ou au sol. *Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine / Laboratoire sur l'agriculture urbaine*, 32p.

TABLE DES MATIÈRES

CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES POUR DEMARRER UNE SERRE URBAINE	5
Choix de la structure	5
Matériel et équipements requis	9
Technique de culture	16
Pratiques d'hygiène et salubrité	20
CYCLE DE PRODUCTION ET RENDEMENTS ASSOCIÉS AUX DIFFÉRENTES ESPÈCES CULTIVÉES EN SERRES	22
Rendements et cycles de production (laitue, tomate, concombre, poivron, fraise)	22
ANALYSE ÉCONOMIQUE	27
Une demande croissante des consommateurs	27
Acceptation des produits serricoles en hydroponie	27
Coût d'installation	28
Coûts d'opération	29
Viabilité économique	30

CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES POUR DEMARRER UNE SERRE URBAINE

Choix de la structure

Localisation de la serre

Les serres urbaines peuvent être construites au sol ou sur un toit. Dans un périmètre urbain, il peut s'avérer difficile de trouver des sites disponibles pour y construire des serres au sol, du fait de la compétition pour l'espace. Les toits représentent d'importantes surfaces sous-utilisées qui pourraient accueillir la production agricole en serre. Cependant, les bâtiments ne sont souvent pas construits pour accueillir une telle structure.

Les règlements d'urbanisme ne sont pas toujours propices au développement des serres. Selon la municipalité, l'installation de serres de petite taille peut être autorisée et les serres commerciales sont quant à elles habituellement interdites, sauf zone industrielle.¹

L'installation d'une serre sur toit exige quelques considérations spécifiques, telles que la charge de la serre sur le bâtiment. En outre, le bâtiment doit être en mesure de supporter le poids de la serre, du recouvrement, des équipements, des productions, des employés et des précipitations. Il faut donc vérifier les plans de l'édifice et consulter un ingénieur pour déterminer si la portance du toit est suffisante. Il faut également considérer la superficie du toit pour estimer la surface de production et la surface non productive, incluant les espaces d'entreposage, de livraison, de nettoyage et de transplantation ainsi que les bureaux, toilettes et autres facilités d'employé. En générale, la surface non productive représente 10 % de la zone de culture.²

Alors que la construction d'une serre en milieu agricole est soumise au Code national de construction des bâtiments agricoles (CNCBA), une serre en milieu urbain doit respecter le Code du bâtiment national du Canada (CNB). Ce dernier exige que les serres aient une capacité portante pour la charge de neige près de 4 fois plus élevée que dans le cadre d'une construction soumise au CNCBA. De même, le CNB peut exiger certaines installations de gicleurs contre les incendies.³

¹ Gouvernement du Québec. (Novembre 2020). *Réglementation en matière d'agriculture urbaine*. <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/agriculture/agriculture-urbaine/reglementation/>

² Wees, D. (2016). *The Greenhouse Handbook – 7th edition*. McGill University.

³ Syndicats des producteurs en serre du Québec. (2013). *La serriculture sur les toits en milieu urbain – perspectives de développement dans le contexte québécois*. Syndicats des producteurs en serre du Québec.

Type de serre

Il existe plusieurs formes de serre, chacune visant à optimiser la transmission lumineuse et à résister aux charges. Parmi elles, la serre traditionnelle (individuelle et jumelée) et la serre curvilinéaire, c'est-à-dire à la toiture arrondie sont mieux adaptées à la production serricole urbaine au Québec.

La serre traditionnelle a des parois verticales et un toit droit avec un angle de pente d'environ 45° pour optimiser la transmission lumineuse et limiter l'accumulation de la neige. Elle utilise efficacement l'espace urbain grâce à ses parois verticales qui réduisent la perte de hauteur près des parois, assurant une surface de production plus large. La serre traditionnelle convient particulièrement aux plantes grimpantes telles que le concombre, le piment, la tomate et l'aubergine.

Autrement, la serre curvilinéaire est très populaire au Québec pour la production maraîchère estivale. Il existe deux formes fréquemment installées. La première est une serre à parois verticales et avec un toit courbé, appelée serre quonset.⁴ L'autre est courbée du pignon jusqu'au sol pour former un tunnel. La forme courbée d'une serre curvilinéaire distribue les charges uniformément, optimise la transmission lumineuse à l'année et limite l'accumulation de neige. Cependant, ces serres sont typiquement recouvertes de polyéthylène ou de polycarbonate, qui ne sont pas aussi résistants aux charges du vent et de la neige. Un autre désavantage de la serre curvilinéaire en tunnel est la perte d'espace de production près des parois inclinées.⁴

Figure 1. Serre jumelée Quonset sur toit.



Crédit : Les Fermes Lufa

⁴ Sahdev, R. K., Kumar, M., Dhingra, A.K. (2019). A comprehensive review of greenhouse shapes and applications. *Frontiers in Energy*. 13 :427-438.

Matériaux de la structure

La structure d'une serre est typiquement en acier ou aluminium. L'aluminium est considéré supérieur comme matériau structurel en raison de sa solidité, sa légèreté et sa résistance au vent. L'aluminium est également souple, lui permettant de former des pièces courbées, et nécessite peu d'entretien puisque le métal ne rouille pas.³ Le faible entretien nécessaire est convenable en milieu urbain puisque l'espace contraint peut rendre difficile les travaux structurels. Pour une serre urbaine sur toit, l'entretien minime de l'aluminium est un avantage en raison des coûts élevés des travaux en hauteur.³ Les inconvénients de l'aluminium incluent ses coûts d'achat et d'installation élevés, et sa faible capacité isolante.

L'acier galvanisé est l'option la plus couramment utilisée, puisque ce matériau possède un profil similaire à celui de l'aluminium, mais à moindre coût. Puisque l'acier est oxydable, il est nécessaire d'utiliser de l'acier galvanisé pour limiter la rouille. Avec un bon entretien, l'acier galvanisé peut être aussi bon que l'aluminium en tant que structure de support.

Ces deux matériaux structurels sont également capables de supporter différents matériaux de recouvrement. Pour une serre urbaine au sol, l'acier galvanisé est recommandé en raison de son moindre coût relatif à l'aluminium. Puisqu'une serre au sol transfère son poids au sol, le poids plus important de l'acier ne pose pas de problème. À l'inverse, une serre urbaine sur toit transfère le poids à l'assise de l'immeuble, alors l'aluminium est la meilleure option.

Recouvrement

L'objectif d'une serre étant de valoriser autant que possible la lumière naturelle pour la production agricole, le recouvrement est sans doute l'élément le plus important. Il doit viser à optimiser les transmissions lumineuse et thermique tout en optimisant les coûts. Les matériaux de recouvrement largement utilisés sont le verre, le polyéthylène et le polycarbonate³ (Tableau 1).

Le verre offre une transmission lumineuse élevée et une bonne résistance aux charges. Il est un recouvrement idéal pour les productions exigeant une luminosité élevée telle que la tomate, le poivron, le concombre et les fleurs coupées. Le coût élevé du verre est compensé par sa longue durée de vie, soit environ 25 ans. Bien que les caractéristiques optiques et mécaniques du verre soient bien adaptées à la production serricole, l'inconvénient est son coût élevé, entraînant une période d'amortissement plus longue. Également, le poids du verre n'est pas problématique pour une serre au sol, mais pourrait le devenir pour une serre sur toit.

Au Québec, le polyéthylène est largement utilisé pour recouvrir les serres.⁵ Ce recouvrement est composé de film installé en couche simple ou double. Sa souplesse lui permet d’être installé sur des serres curvilinéaires et entraîne une distribution lumineuse plus uniforme. Sa légèreté permet d’avoir une structure moins lourde et donc de réduire les coûts d’installation. Toutefois, avec une durée de vie de 2 à 4 ans, il faut le remplacer plus souvent que les recouvrements rigides et semi-rigide.³

Le polycarbonate se situe entre le polyéthylène et le verre en matière de poids, de résistance thermique, de transmission lumineuse et de résistance aux charges. Il est semi-rigide et peut s’installer sur des serres légèrement courbées. Il peut s’installer en paroi simple, toutefois les panneaux à double ou triple parois sont mieux adaptés à la production serricole. En outre, la structure alvéolaire des panneaux à multiples parois emprisonne de l’air, ce qui augmente le facteur isolant du recouvrement.⁶ En raison de son moindre coût, son faible poids et sa résistance aux charges, le polycarbonate est théoriquement préférable pour les serres sur toit.

Alors que le polycarbonate et le polyéthylène sont moins coûteux que le verre et permettent de réduire le poids de la serre, leur installation sur des serres sur toit est limitée par la réglementation d’urbanisme local et par les règlements de la Régie du bâtiment du Québec. À Montréal, par exemple, les selon la hauteur du bâtiment et le recouvrement de la serre, la construction est régie soit par la ville, soit par la Régie du bâtiment du Québec et par la CNCBA. Ce dernier ne permet pas, à l’heure actuelle, la construction des serres sur toit recouvertes de polyéthylène ou de polycarbonate en raison de la sécurité incendie. À l’inverse, il est permis de recouvrir une serre de polycarbonate ou de polyéthylène sous la régie municipale, donc au-dessus des petits bâtiments. Puisque ces régies présentent des règles divergentes, il faut considérer les serres sur toit au cas par cas et consulter la réglementation locale avant de construire.

Tableau 1. Caractéristiques des recouvrements de serre.

Recouvrement	Transmission lumineuse (%)	Poids (kg/m ²)	Épaisseur (mm)	Résistance aux charges	Coûts d’achats	Durée de vie (ans)
Verre (horticole, diffus, anti-reflet)	88-92	5,9	3-4	Élevée	Élevé	25-30
Film copolymère d’éthylène-tétrafluoroéthylène (ETFE)	94	0,17-0,46	0,09-0,28	Élevée	Moyen	30-50
Polyéthylène, simple	82-87	0,15	0,10-0,15	Faible	Faible	1-3
Polyéthylène, double	67-76	0,30		Faible	Faible à moyen	2-3
Polycarbonate, double	73-78	2,4-10		Moyenne	Moyen	15-20

⁵ Les producteurs en serre du Québec. (2018). Fiche 3: Utilisation d’un recouvrement de serre efficace. Les producteurs en serre du Québec.

⁶ Kwon, J. K., Khoshimkhujaev, B., Lee, J. H., Yu, I. H., Park, K., S., Choi, H. G. 2017. Growth and yield of tomato and cucumber plants in polycarbonate or glass greenhouses. *Horticultural Science and Technology*. 35(1): 79–87.

Matériel et équipements requis

Système de chauffage

Le chauffage représente un coût opérationnel important pour les serres québécoises, qu'elles soient en milieu rural ou urbain, notamment lorsque la serre fonctionne à l'année. Il est nécessaire pour maintenir une température propice à la croissance des plantes. Les méthodes de chauffage ont comme source énergétique principale la combustion de gaz naturel ou de propane, mais il est aussi possible d'utiliser de l'électricité. Parmi les systèmes utilisés on utilise le système de chauffage aérotherme, le chauffage à eau chaude et le chauffage par radiation (Tableau 2).^{3,7}

Si plusieurs sources énergétiques sont possibles, une particularité des milieux urbains est la récupération passive de la chaleur aux alentours de la serre grâce à l'effet d'îlot thermique. En outre, les bâtiments avoisinants absorbent le rayonnement solaire pendant la journée et le diffusent lentement pendant la nuit. Une serre urbaine peut donc bénéficier du rayonnement des bâtiments avoisinants, qui créent un microclimat et limitent les pertes thermiques.

De même, il est possible de valoriser les rejets thermiques provenant des activités industrielles à proximité de la serre. Le Syndicat des producteurs en serre du Québec donne l'exemple d'un système circulaire faisant passer un frigorigène d'un procédé industriel vers une serre à travers le réseau de distribution de chaleur, avant de le retourner à cette source.⁵ Ceci est particulièrement possible pour les serres sur les toits, dont la position sur un bâtiment peut faciliter l'intégration à son système de chauffage.⁸ Alors que le principal avantage de la récupération de chaleur est la valorisation des rejets thermiques, sa pratique doit prendre en compte la cohérence des rejets avec les besoins dans le temps et la logistique de jumeler plusieurs systèmes.

⁷ Parent, S. 2020. Systèmes de chauffage d'appoint pour une serre bien tempérée. Pro-Mix.

⁸ Sanyé-Mengual, E., Llorach-Masana, P., Sanjuan-Delmas, D., Oliver-Solà, J., Josa, A., Montero, J.I., Rieradevall, J. 2014. The ICTA-ICP rooftop greenhouse lab (RTG Lab): closing metabolic flows (energy, water and carbon dioxide) through integrated rooftop greenhouses.

Tableau 2. Systèmes de génération et distribution de chaleur dans les serres urbaines.

Système	Description	Sources d'énergie possibles	Principaux avantages	Principaux inconvénients
Système de chauffage aérotherme (soufflerie ou poly tubes)	Réchauffement d'air et distribution dans la serre par un système de ventilation ou via des poly tubes	Propane, gaz naturel, biodiesel	Souvent plus abordables que les systèmes de chauffage à eau chaude; Mise en marche rapide (génération de chaleur immédiate)	L'air réchauffé se refroidit plus rapidement que l'eau ou la vapeur (utilisation recommandée pour petites serres)
Système de chauffage à eau chaude	Eau chauffée puis distribuée à travers la serre au moyen de tuyaux qui diffusent la chaleur par radiation	Gaz naturel, biomasse forestière, rejets thermiques	Distribution uniforme de la chaleur; Souvent utilisé pour serres de 1500m ² et plus	Investissement initial plus important; Mise en route plus longue
Systèmes de chauffage par radiation	Rayonnement infrarouge produit par des lampes.	Électrique ou gaz naturel	Température des feuilles est plus élevée que celle de l'air, donc pas de condensation sur les feuilles et un moindre risque de moisissures sur les feuilles; Idéal pour apporter un chauffage d'appoint à des zones avec fluctuations de températures importantes (portes)	Crée de l'ombrage supplémentaire pour les cultures; La chaleur produite par le radiateur est limitée à un rayon restreint autour du radiateur

Tableau 3. Sources d'énergie pour le chauffage de serres urbaines au Québec

Sources d'énergie	Description	Avantages	Inconvénients
Gaz naturel	La combustion de gaz naturel dégage de l'énergie thermique et du CO ₂ qui peuvent être distribués dans la serre par un réseau d'eau ou d'air chaud.	Prix concurrentiel; Utilisation simple; Permet l'injection de CO ₂ en serre à partir des gaz de combustion	Produit des gaz à effet de serre (GES)
Biomasse forestière (copeaux)	La combustion de copeaux de bois fournit l'énergie thermique à une bouilloire qui approvisionne la serre en eau chaude via des tuyaux.	Valorisation des déchets forestiers produits en milieu urbain	Lieu d'entreposage des copeaux à prévoir sur le site; Moins dense en énergie que les combustibles fossiles; Plus haut taux de concentration de cendre et poussière
Biomasse forestière (granules)	La combustion de granules fournit l'énergie thermique à une bouilloire qui approvisionne la serre en eau chaude via des tuyaux.	Valorisation des déchets forestiers produits en milieu urbain; Faible taux de cendre et poussière	Lieu d'entreposage des granules à prévoir sur le site; Coûts de transformation en granules; moins dense en énergie que les combustibles fossiles
Électricité	Réseau hydroélectrique d'Hydro-Québec alimentant souvent des systèmes de chauffage d'appoint.	Facile d'accès en ville; Ne produit pas de GES; Idéal pour les systèmes de chauffage d'appoint (chauffage radiant, tapis chauffants, éclairage)	Coût d'utilisation élevés (des rabais sont disponibles dans le cadre de la stratégie de croissance des serres).
Énergie solaire photovoltaïque	L'énergie lumineuse permet de fournir de l'électricité lorsque capté par des panneaux photovoltaïques	Ne produit pas de GES; Source d'énergie renouvelable	Grande surface nécessaire (proche ou sur la serre); Coûts d'investissement initiaux élevés; Production d'énergie variable selon les heures d'ensoleillement
Récupération de rejets thermiques d'un procédé industriel externe	Le fluide de refroidissement d'un procédé industriel circule dans la serre et y transmet l'énergie thermique emmagasinée.	Très faibles coûts d'utilisation des rejets thermiques; Pas de génération supplémentaire de GES	Coûts d'investissement initiaux élevés; Difficulté de garantir la qualité ou quantité de rejets thermiques de la source; Nécessite l'implantation de la serre près du site producteur de rejets thermiques
Géothermie	L'énergie thermique emmagasinée dans le sol est captée par un fluide frigorigène via un système de tubulures qui distribue par la suite l'énergie thermique par radiation dans la serre.	Peu ou pas de GES émis; Peut aussi fournir de la climatisation en été	Coûts d'investissements initiaux élevés; Complexité d'implantation (forages); Risque de contamination des sols en cas de rupture des conduits.
Biogaz ou Gaz naturel renouvelables (GNR)	Les biogaz générés par la fermentation de la matière organique (matières résiduelles organiques, fumiers) et boueux (boues de stations d'épuration, lisiers de porc, matières organiques municipales, etc.) agissent comme combustible pour produire de l'énergie thermique.	Énergie renouvelable; Valorisation des gaz émis par la matière organique	Nécessite beaucoup d'installations (digesteur, système de cogénération, etc.)

En milieu urbain, il est également possible de chauffer une serre avec des résidus de bois provenant des arbres abattus et des menuiseries urbaines. De nombreuses villes américaines, dont québécoises, sont prises avec de lourds inventaires de bois de frêne issus de l'abattage massif de ces arbres suite aux infestations de l'agrile du frêne (*Agrilus planipennis*). Par exemple, à Montréal, ce coléoptère est responsable de l'abattage de près de 70 000 arbres depuis 2012.⁹ Plutôt que de gaspiller les résidus, les frênes abattus pourraient être convertis en granules de bois puis utilisés comme combustible de chauffage. Cela est aussi possible avec des champs de saule à croissance rapide. Toutefois, des réglementations municipales sur les particules fines peuvent empêcher des projets ou faire augmenter les coûts de tels projets, en obligeant l'utilisation de fournaise spécialisée permettant de réduire au minimum les rejets de particules fines dans l'air. Ces particules sont associées à des risques sur la santé humaine aux alentours de la serre et de l'effet sur la création de smog urbain.

Systèmes de refroidissement et contrôle d'humidité

Le refroidissement et le contrôle de l'humidité sont considérés ensemble puisque plusieurs systèmes de refroidissement modifient également l'humidité de l'air. Par exemple, la ventilation sert à évacuer l'air chaud et humide, et permet de le remplacer par de l'air froid et sec. De même, l'utilisation de panneaux humides de refroidissement réduit la température ambiante en évaporant de l'eau dans la serre.

Il existe une diversité de systèmes capables de refroidir et de contrôler l'humidité d'une serre urbaine. Plusieurs exemples sont détaillés ci-dessous (Tableau 4). Puisque la grande majorité des centres urbains connaît des températures et taux d'humidité élevés, la ventilation naturelle par les parois et les coussinets de refroidissement sont moins efficaces puisque ces méthodes exigent l'entrée de l'air chaud et sec. Il est donc suggéré de conjuguer la ventilation naturelle par le toit et la ventilation forcée. Le refroidissement par thermopompe est aussi efficace, mais le coût d'achat est plus élevé.

Figure 2. Ventilation naturelle par des fentes au toit (gauche; crédit aux Fermes Lufa) et la ventilation forcée (droite; crédit à Green City Growers).



⁹ Communauté métropolitaine de Montréal (CMM). 2017. Stratégie métropolitaine de lutte contre l'agrile du frêne 2014-2024 : bilan des activités 2017. Communauté métropolitaine de Montréal. https://cmm.qc.ca/wp-content/uploads/2019/03/Bilan2017_StrategieAgrile.pdf

Tableau 4. Description des systèmes de refroidissement et contrôle d'humidité.

Systeme	Description	Avantages	Inconvénients
Ventilation naturelle	Ouverture de fentes aux parois et au toit; utilise le vent pour déplacer l'air	Efficace à 95% du temps; basse consommation électrique	Moins efficace en hiver et dans les conditions chaudes et humides
Ventilation forcée	Changements d'air par des ventilateurs	Efficace en toutes conditions météorologiques	Coûteuse; pas efficace pour les serres d'une longueur de plus de 45 m
Coussinets de refroidissement	Des ventilateurs tirent de l'air à travers des coussinets humides; l'évaporation refroidit et humidifie l'air	Peut abaisser la température de l'air de 5 à 8°C	Refroidissement non uniforme; hausse du taux d'humidité peut entraîner de la condensation
Brumisation	Injection et évaporation des fines gouttes d'eau dans l'air	Peut abaisser la température de l'air de 5 à 8°C	Exige un faible taux de calcaire dans l'eau pour éviter le colmatage des brumisateurs; entraîne une hausse du taux d'humidité
Thermopompe ^a	Boucle frigorigène autour de la serre pour absorber l'excès de chaleur et le transférer vers l'extérieur	Moindre effet sur le taux d'humidité	Coûteux

Source : ^a Ressources Naturelles Canada. (2017, mars). La thermopompe: de quoi s'agit-il et comment fonctionne-t-elle? Ressources Naturelles Canada.

Éclairage horticole d'appoint

Alors que le rayonnement solaire fournit la grande partie de la lumière dans une serre, il est souvent nécessaire d'utiliser de l'éclairage d'appoint. En milieu urbain, l'éclairage d'appoint est particulièrement important pour une serre au sol puisque les bâtiments avoisinants pourraient ombrager la serre. De plus, les normes CNB qui s'appliquent sur les serres urbaines nécessitent d'employer des matériaux augmentant la charge portante, ce qui engendrent des pertes lumineuses du fait de leur structure plus encombrante. Cette perte de luminosité naturelle est estimée à 22 %.⁴ L'éclairage d'appoint permet donc de compenser ces pertes tout en modifiant la photopériode, ce qui provoque des changements morphologiques, tels que la floraison hâtive ou l'étiollement des tiges.¹⁰

Les deux classes de lampes horticoles utilisées en serre sont les lampes à décharge haute pression (appelées lampes HID) et les lampes électroluminescentes (Tableau 5). Les lampes à décharge haute pression sont les plus utilisées dans les serres puisqu'elles fournissent un éclairage intense. Ces modèles incluent les lampes au sodium à haute pression (lampes HPS) et les lampes au sodium à basse

¹⁰ Lessard, J. (2014). Éclairage en serre: quoi de neuf? Centre d'expertise en horticulture ornementale du Québec.

pression (LPS). L'adoption des lampes électroluminescentes dans les serres est assez récente. À date, les lampes électroluminescentes (DEL) n'étaient pas installées dans les serres en raison des coûts prohibitifs et le manque de connaissances sur leur efficacité.¹¹ Maintenant que le coût de ces lampes a baissé, les serres commencent à les installer pour réduire leurs coûts énergétiques et fournir une lumière optimisée à la production. En Ontario, une serre a récemment réussi à produire des poivrons hivernaux sous l'éclairage électroluminescent, ce qui démontre le potentiel de cet éclairage en serre.¹² Il est donc recommandé d'installer des lampes électroluminescentes dans les serres pour diversifier sa production et réduire les coûts énergétiques. Alors que leur coût d'achats est plus élevé que celui des lampes HPS et LPS, la période d'amortissement est estimée à 2-3 ans.¹³

Tableau 5. Caractéristiques des lampes horticoles

Type de lampe	Avantages	Inconvénients	Coûts d'achat	Durée de vie (heures)
Lampes à vapeur de sodium à haute pression (HPS)	Éclairage intense, bien adaptées à la production des fruits; moins coûteuses que les lampes électroluminescentes	Production de chaleur qui pourrait brûler les feuilles; spectre étroit et non modifiable; moins écoénergétiques	Bas	24,000
Lampes à vapeur de sodium à basse pression (LPS)	Plus écoénergétiques que les HPS	Émission de lumière jaune, qui n'est pas efficace pour la photosynthèse; production de chaleur	Bas	
Lampes électroluminescentes (DEL)	Spectre optimisé pour la croissance; moindre production de chaleur; écoénergétiques	Plus coûteuses que les lampes HID	Élevé	50,000

Écran thermique et écran d'ombrage

¹¹ Sparks, B.D. (2019, février). Why greenhouse growers have been slow to shift to LEDs. Greenhouse Grower.

¹² HortiDaily. (2021, janvier). Successful first harvest of winter-produced greenhouse peppers in Canada. HortiDaily.

¹³ Sparks, B.D. (2019, février). Why greenhouse growers have been slow to shift to LEDs. Greenhouse Grower.

Les écrans thermiques sont utiles pour limiter les pertes de chaleur pendant la nuit. Ils sont installés à l'intérieur de la serre et fermés lorsque le soleil se couche. Selon le modèle, les écrans thermiques peuvent réduire les déperditions thermiques de 50 %, réduisant donc le besoin de chauffage pendant la nuit.¹⁴

En milieu urbain, ils agissent également comme écran d'ombrage lorsque des éclairages sont actifs en période obscure. Ceci réduit ainsi la pollution lumineuse par la serre, en bloquant jusqu'à 99 % de la lumière. Le dessous des écrans thermiques est blanc pour refléter la lumière vers l'intérieur de la serre.¹⁴

Système de gestion et distribution de la solution nutritive

La gestion de l'eau est capitale et nécessite deux équipements clés : un système de dosage et un système d'osmose inverse. Puisque l'hydroponie est la technique de production dominante dans les serres urbaines, les systèmes d'irrigation sont expliqués en détail dans la prochaine section, *Technique de culture*.

Un système de dosage automatique est nécessaire pour maintenir une solution nutritive homogène. Un doseur surveille la conductivité électrique, le pH et la température de la solution nutritive et contrôle l'ajout des fertilisants et des ajusteurs de pH au réservoir. Autre que la provision d'une solution nutritive homogène, un système de dosage automatique réduit la main-d'œuvre requise pour la préparation des solutions nutritives.

Un système d'osmose inversée sert à filtrer l'eau d'irrigation pour enlever les matières dissoutes. La nécessité d'un tel système dépend de la qualité de l'eau, notamment sa dureté. En effet, l'eau à dureté élevée a une concentration élevée de carbonates et bicarbonates, qui peuvent précipiter au contact de l'équipement d'irrigation et obstruer l'écoulement de l'eau.

Injecteur de gaz carbonique

L'enrichissement carboné est une pratique courante permettant d'améliorer la croissance et la vigueur des productions en favorisant l'assimilation du carbone par les plantes.¹⁵ Il peut se faire par la combustion des combustibles fossiles ou par la vaporisation de gaz carbonique liquide. Ce premier a

¹⁴ Seguin, R. (2021, janvier). "The bylaw could be a win-win for everyone". HortiDaily.

¹⁵ Les Producteurs en serre du Québec. (2018, février). Fiche 9: La récupération du gaz carbonique à partir des gaz de combustion du système de génération de chaleur (propane ou gaz naturel). Les Producteurs en serre du Québec.

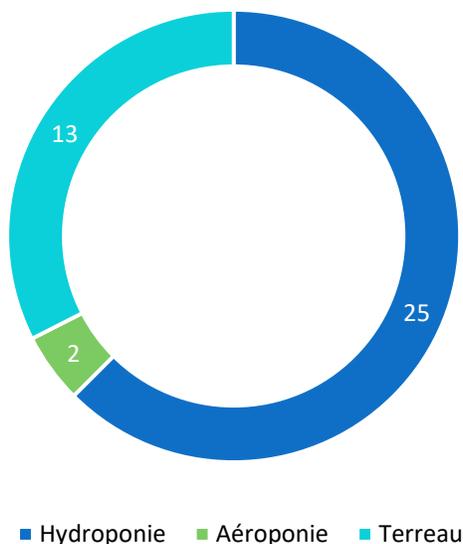
l'avantage de jumeler le chauffage avec l'enrichissement carboné, mais une combustion incomplète risque de produire des composés dangereux.¹⁶

L'essor de champignonnières urbaines présente une opportunité de collaboration avec les serres pour la valorisation de CO₂. En effet, le compostage des résidus provenant des champignonnières produit un montant considérable de gaz carbonique qui peut être utilisé pour l'enrichissement carboné de serres.

Technique de culture

La production serricole se fait soit en terreau, soit en hors-sol (c'est-à-dire en culture hydroponique). Sur un échantillon de 40 serres urbaines, 63 % utilisent un support de culture en hydroponie, 33 % cultivent en terre ou en terreau horticole¹⁷, et seulement 5 % utilisent un support de culture en aéroponie, comme l'indique la Figure 9. Toutefois, cette proportion varie entre les serres au sol et les serres sur toit. Ainsi, 44 % des serres au sol cultivent en terre ou en terreau, alors que seulement 15 % des serres sur toit cultivent en terreau.

Figure 3. Techniques de production employées par 40 serres urbaines.



¹⁶ Khosla, S. (2002). Le gaz carbonique dans les serres. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales. Agdex 290/27.

¹⁷ Un terreau horticole est un substrat de culture haute performance à base de tourbe.

Le choix entre la production en terre ou hors sol s'explique par les propriétés de ces supports de culture. En outre, bien que le terreau horticole soit typiquement composé de matériaux légers, il représente toutefois une charge importante pour une serre sur un toit. Cependant, une serre produisant en terre ou en terreau se qualifie pour une éventuelle certification biologique. De plus, la terre ou le terreau possèdent une capacité tampon élevée, qui permet de résister à des variations de pH, et de température.

En milieu urbain, la production en terre doit s'assurer que le sol n'est pas contaminé, notamment par des projets de construction, l'épandage des sels déglaçants ou le dépôt des métaux lourds par le ruissellement de surface.¹⁸ La production en terreau est un moyen efficace de contourner ce risque. Elle se fait soit en contenants soit en planches surélevées équipés d'un système d'irrigation au goutte-à-goutte, en microaspersion ou enterré.

Figure 4. Différentes techniques de production en serre urbaine. À droite: la production en planches surélevées (crédit: Serre communautaire de Inuvik). À gauche: opération en eau profonde (crédit: Green City Growers)



La production hydroponique devient une pratique courante en serre en raison de la salubrité, la facilité d'utilisation et l'utilisation efficace de l'espace.¹⁹ Il existe plusieurs techniques en hydroponie; le choix de la technique dépend surtout de la production visée. Les techniques principales sont la culture en eau profonde, le film nutritif, le pain de substrat neutre et les tours verticales (voir Tableau 6).³

¹⁸ Seguin, R., Kargar, M., Prasher, S.O., Clark, O.G, Jutras, P. (2018). Remediating Montreal's tree pit soil applying an ash tree-derived biochar. *Water, Air and Soil Pollution*. 229:84.

¹⁹ Freisinger, U.B., Specht, K., Sawicka, M., Busse, M., Siebert, R., Werner, A., Thomaier, S., Henckel, D., Galda, A., Dierich, A., Wurbs, S., Grosse-Heitmeyer, J., Schön, S., Walk, H. (2015). There's something growing on the roof. Rooftop greenhouses. *Idea, Planning, Implementation*. Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF).

Tableau 6. Caractéristiques des différentes techniques en hydroponie.

Technique hydroponique	Fonctionnement	Avantages	Inconvénients	Productions horticoles
Culture en eau profonde (DWC) type classique	Semis transplantés en petits pots remplis de billes d'argile; les pots sont insérés sur un panneau flottant, placé au-dessus d'un réservoir de solution nutritive aéré	Plus grand volume d'eau donc plus facile de maintenir une température stable	Panne de pompe à air pourrait asphyxier les racines; peu d'ancrage pour les racines alors limitée aux productions compactes	Légumes feuilles et fines herbes
Culture en eau profonde (DWC) – type seau hollandais	Semis transplantés dans des seaux remplis de billes d'argile connectés à la ligne d'eau principale; irrigation cyclique	Bon soutien racinaire; modulable	Mal adaptée pour la production à grande échelle en raison de la redondance des pièces	Aubergine, concombre, poivron et tomate
Film nutritif (NFT)	Semis transplantés sur des gouttières légèrement inclinées, sans substrat additionnel; irrigation par ruissellement dans la gouttière.	Bonne absorption d'oxygène par les racines; modulable	Défaillance de pompe entraîne rapidement un stress hydrique; peu de soutien racinaire	Fines herbes, légumes feuilles, fraises.
Pain de substrat neutre	Semis transplantés dans des blocs de substrat neutre; irrigation goutte-à-goutte.	Soutien racinaire permettant la production des fruits	Substrats coûteux; laine de roche est non recyclable	Aubergine, concombre, piment, tomate.
Tours verticales	Semis entourés de matériau inerte et synthétique et transplantés en tours perpendiculaires au sol; irrigation goutte-à-goutte ou en aéroponie.	Modulable; optimisation de l'espace vertical	Goutteurs et brumisateurs facilement obstrués par les particules dans l'eau (poussière, engrais non dissous, etc); limitées aux productions compactes	Fines herbes, légumes feuilles, fraises.

Automatisation

D'après le diagnostic sectoriel de 2015 sur les légumes de serre du Québec, le niveau technologique du parc serricole québécois est moins développé qu'en Ontario, résultant notamment par un besoin en main d'œuvre deux fois plus élevé (37 \$/m² au Québec contre 17 \$/m² en Ontario durant la période 2010-2014) et représentant un des facteurs à l'origine d'une moindre rentabilité de ses entreprises. Ce facteur a notamment impacté la compétitivité de la serriculture québécoise, et provoqué un recul de ses parts de marché entre 2006 et 2015.

Avec la modernisation des serres québécoises, on observe une réduction de l'écart de productivité. En effet, les serres modernes obtiendraient un rendement en tomates de 55 et 58 kg/m², contre un rendement québécois de 40,8 kg/m² sur la période 2011-2015.²⁰

L'automatisation peut se faire à chaque étape de la production, donc de l'ensemencement à l'emballage des aliments. La plupart des équipements susmentionnés comprend un système de contrôle pour automatiser les opérations. Par exemple, les systèmes de chauffage, de refroidissement et d'enrichissement carboné sont contrôlés par des thermostats et relaient des informations concernant l'environnement à un logiciel contrôleur. Le producteur doit seulement identifier la température, l'humidité et le taux de gaz carbonique ciblé. De même, le doseur d'engrais permet d'automatiser la gestion de l'eau pour assurer une qualité homogène.

Alors que leur taux d'adoption au Québec est inconnu, il existe des plateformes qui utilisent des solutions infonuagiques et de l'intelligence artificielle pour surveiller la croissance de la plante.²¹ Quelques entreprises, telles que Green Automation, ont développé des systèmes hydroponiques complètement automatisés dont l'ensemencement se fait par un semoir pneumatique et les plantes sont transportées par des convoyeurs de la zone de germination, à la serre et, finalement, à la zone d'emballage. L'automatisation est relativement facile pour la production des légumes feuilles puisqu'elles sont compactes et faciles à manipuler. À l'inverse, l'automatisation de la production des fruits est plus complexe parce que les plantes ne peuvent pas être transportées et les fruits sont délicats. Pour ces productions, l'industrie horticole met l'accent sur le développement des robots pour identifier les fruits mûrs et les détacher de la tige sans endommager le fruit.

²⁰ MAPAQ. (2015). Portrait-diagnostic sectoriel des légumes de serre au Québec.

²¹ Greenhouse Canada. (2020, mars). New and notable: automation and AI. Greenhouse Canada. <https://www.greenhousecanada.com/new-and-notable-automation-and-ai>.

Pratiques d'hygiène et salubrité

Les bonnes pratiques d'hygiène et de salubrité sont nécessaires pour limiter la prolifération des ravageurs et des pathogènes, qui peuvent entrer dans une serre par les fentes, sur les vêtements des employés et visiteurs, et sur les matières organiques non stérilisées. L'introduction des ravageurs et pathogènes peut entraîner des effets désastreux sur les rendements et puisque les serres québécoises rivalisent déjà contre les produits importés à faible coût, il est critique d'éviter les pertes de rendements.

L'hygiène adéquate commence à la porte de la serre, avec un bain de pieds, l'entreposage des effets personnels, et possiblement le revêtement d'un uniforme, constitué d'une blouse, de gants en latex, d'un bonnet et de couvre-chaussures.^{2,22}

Une fois dans la serre, il y a quelques pratiques de base qui permettent de limiter la prolifération des ravageurs et pathogènes. Il s'agit tout d'abord d'utiliser du matériel stérilisé, dont les semences et les substrats non contaminés. Les semences doivent provenir d'un semencier réputé et doivent être entreposées dans un endroit sec et frais pour éviter la germination hâtive et la prolifération des pathogènes.

Figure 5. Exemples d'uniformes pour des employés en serre.



Crédit: Green City Growers

La contamination du substrat est un enjeu important en serriculture, particulièrement dans le cas d'usage de terreau. Ces substrats peuvent abriter des pathogènes s'ils ne sont pas entreposés correctement ou si l'emballage est percé pendant le transport. La stérilité du substrat s'obtient par la

²² Smith, T. (2015). Cleaning and disinfecting the greenhouse. UMass Extension: Greenhouse Crops and Floriculture Program.

stérilisation ou la pasteurisation. Ces deux techniques sont coûteuses et exigent une surface considérable, donc elles ne sont pas recommandées pour les serres urbaines, où l'espace est souvent contraint.²³ Il est préférable de se procurer des terreaux horticoles stériles.

Sans doute, la pratique la plus importante pour la prévention des problématiques phytosanitaires est la gestion des résidus biologiques lors de l'effeuillage. Ces résidus biologiques ne doivent pas être laissés dans la serre puisque leur décomposition favorise la prolifération de pathogènes et peuvent abriter les insectes. Si l'espace le permet, l'idéal est de placer les résidus biologiques dans un bac de compostage à l'extérieur de la serre. Le compostage est un service municipal qui n'est pas disponible dans toutes les municipalités québécoises. Cependant, le gouvernement provincial vise à offrir ce service dans toute la province d'ici 2025.²³ Alors qu'il est possible de faire son propre compostage, ceci exige plus d'espace pour l'installation des composteurs. Le compostage sur site n'est recommandé que pour les serres produisant en terreau horticole, puisqu'elles pourront intégrer le compost dans la production.

Il est important de bien nettoyer la serre entre les cycles de production. Ceci nécessite l'élimination des plantes et substrats, le balayage et la désinfection du plancher et la désinfection des équipements.

En plus des pratiques susmentionnées, la lutte intégrée des insectes ravageurs se fait avec des pièges collants et des agents de lutte biologique. Il est également possible d'utiliser les produits chimiques contre les ravageurs et les pathogènes, mais les consommateurs demandent de plus en plus des fruits et légumes produits sans insecticides ni fongicides. La prévention des infestations, par la mise en place des pratiques susmentionnées, est donc une priorité dans le milieu serricole.

²³ Chouinard, T. (2020, juillet). Le «bac brun» partout d'ici 2025. La Presse.

CYCLE DE PRODUCTION ET RENDEMENTS ASSOCIÉS AUX DIFFÉRENTES ESPÈCES CULTIVÉES EN SERRES

Les serres permettent de cultiver une grande variété d'espèces, toutefois à l'échelle du Québec, les espèces les plus cultivées sont la tomate, le concombre, la laitue et le poivron. On note toutefois une diversification récente de l'offre de légumes en serre pour inclure une gamme de légume de spécialité (tomate de couleur, tomate cerise, mini concombre, etc...) et des petits fruits comme la fraise.²⁴ Dans le cas des serres urbaines, une telle diversification est possible, mais il est fréquent de constater que les entreprises se concentrent sur des productions à haute rentabilité et à prix de vente élevé, préférant ainsi les légumes feuilles et les fines herbes.

Rendements et cycles de production

Laitue

La production de laitue nécessite une température entre 18 et 20 degrés et un taux d'humidité de 60 à 75 %. Le pH idéal se situe entre 5,5 et 7,0 alors que la conductivité est entre 1,2 et 2,0 mS/cm. Pendant la production de la laitue, un éclairage supplémentaire est nécessaire pour maintenir une photopériode de 18 heures quand l'éclairage naturel est faible. L'intensité lumineuse devrait se situer entre 50 - 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ pour un total de 12 à 13 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{jr}$ incluant la lumière naturelle et artificielle.²⁵ Pour une croissance et un développement optimaux, la concentration du CO_2 devrait être maintenue entre 1 000 et 1 500 ppm.²⁶

Tableau 7. Rendement, densité et cycles de production de la laitue en régie hydroponique.

Source	Variété	Rendement par cycle	Densité	Cycle de production*
Sharma et al. (2018)	n.c.	50 têtes/m ²	50 têtes/m ²	30-40 jours
Brechner et Both (1996)	n.c.	38 têtes/m ²	38 têtes/m ²	35 jours
Sublett et al. (2018)	Laitue frisée			50 jours
Lima et al. (2018)	Laitue frisée			61 jours
Shi (2019)	Laitue boston			44 jours
CRAAQ (2020)	n.c.	25 têtes/m ²	25 têtes/m ²	35 jours
Cycle de production détaillé pour la laitue				
Semis	Jour 0			
Repiquage	11 jours après l'ensemencement			
Récolte	24 jours après le repiquage			

Source: Wees (2016), Brechner et Both (1996), Shi (2019)

²⁴ MAPAQ. (2015). Portrait-diagnostic sectoriel des légumes de serre au Québec. p10.

²⁵ Brechner, M., T.H. Both. 2013. Hydroponic lettuce handbook. Cornell Controlled Environment Agriculture. Cornell University CEA program (48 p).

²⁶ Agriculture and Agri-Food Canada (2011). Profil de la culture de la laitue de serre au Canada, 2011.

Tomate

La production de tomate requiert une température entre 20 et 24 degrés et un taux d'humidité entre 60 et 80 %. Le pH idéal est entre 5,5 et 6,5, alors que la conductivité est entre 2,0 et 4,0 mS/cm. En termes de luminosité, les besoins de la tomate se situent autour de 30 mol/m²/jr durant la phase de développement (intensité lumineuse de 83 µmol/m²/jr) pour une photopériode entre 16 et 20 heures avec une concentration de CO₂ se situant entre 700 et 1 000 ppm.²⁷

Selon les sources étudiées, le rendement se situe entre 50 et 70 kg par m². Les plants ont une densité entre 2,2 et 3,5 plants par m² et le cycle de production est entre 10 et 11 mois. Il n'y a en général qu'un cycle de production par an.

Tableau 8. Rendement, densité et cycles de production de la tomate.

Source	Variété, régie et expérience	Rendement par cycle	Densité	Cycle de production
Weill et Duval (2009)	Tomate biologique, en terreau	20 kg/m ²	2,5-3,5 plants/m ²	10 mois
Wees (2016)	n.c. (guide général), terreau et hydroponie	40-60 kg/m ²	2,5-3,5 plants/m ²	10 mois
Turcotte et al. (2015)	n.c. (guide général), hydroponie	65 kg/m ²	2,2-2,4 plants/m ²	11 mois
Dorais et al. (1991)	Tomate Caruso (taille moyenne), hydroponie	70-84 kg/m ²	2,3-3,5 plants/m ²	9 mois
Calpas (sans date)	Tomate Beef, producteur novice, hydroponie	50-55 kg/m ²	2,3-3,5 plants/m ²	12 mois
Calpas (sans date)	Tomate Beef, producteur expérimenté, hydroponie	60-70 kg/m ²	2,3-3,5 plants/m ²	12 mois
CRAAQ (2020)	Tomate Beef, hydroponie	33 kg/m ²	2,6 plant/m ²	30 semaines
CRAAQ (2020)	Autre tomate, hydroponie	20 kg/m ²	2,6 plant/m ²	30 semaines

Cycle de production détaillé pour la tomate

Semis	Jour 0
Transplantation en serre	2 mois après l'ensemencement
Première récolte	2 mois après la transplantation
Forte récolte	1-2 mois
Récolte stable	4-6 mois

Source: Weill et Duval (2009), Wees (2016)

²⁷ Dorais, M. 2003. The use of supplemental lighting for vegetable crop production: light intensity, crop response, nutrition, crop management, cultural practices. Canadian greenhouse conference.

Concombre

La production de concombre nécessite une température entre 19 et 25 degrés et une humidité entre 60 et 80 %. Le pH doit se situer entre 5,0 et 6,1 alors que la conductivité est de 1,5-2,5 mS/cm. En termes de luminosité, au Québec, les apports se situent autour de 120-150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{jr}$, avec une photopériode optimale se situant entre 18 et 20 heures²⁷ avec une concentration de CO_2 se situant entre 800 et 1 000 ppm.²⁸

Selon les sources, le rendement est entre 17 et 30 kg par m^2 avec 2 (concombre anglais) ou 3 (concombre libanais) cycles de production annuels. La densité de plantation varie selon le type de production choisie : concombre libanais 1,6 plants/ m^2 , concombre anglais entre 1,5 à 2,5 plants/ m^2 .

Tableau 9. Rendement, densité et cycles de production du concombre.

Source	Variété, régie	Rendement par cycle	Densité	Cycle de production
Johnson et Hickman (sans date)	Concombre anglais (long), hydroponie	17-24 kg/m^2	1,9-2,1 plants/ m^2	7 mois
Wees (2016)	n.c. hydroponie et terreau	20-73 kg/m^2	1,5-2 plants/ m^2	7 mois
Hochmuth (2015)	Concombre anglais, hydroponie	9-11 kg/m^2	1,5-2 plants/ m^2	
Parker et al. (2019)	Concombre anglais, hydroponie	18-30 kg/m^2	2,5 plants/ m^2	
CRAAQ (2020)	Concombre anglais, hydroponie	22 kg/m^2	1,6 plants/ m^2	12 semaines
CRAAQ (2020)	Concombre libanais, hydroponie	28 kg/m^2	1,6 plants/ m^2	12 semaines

Cycle de production détaillé pour le concombre

Semis	Jour 0
Repiquage	1 mois après l'ensemencement
Première récolte	1-2 mois après le repiquage
Récolte	2-4 mois

Source: Wees (2016), Johnson et Hickman (sans date)

²⁸ OMAFRA. (2002). Le gaz carbonique dans les serres. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/00-078.htm#CONCE>

Poivron

Dans le cas du poivron, la température nécessaire à la production est entre 20 et 25 degrés, avec une humidité de 70 à 80 % et un pH de 5,5 à 6,0. La conductivité se situe entre 2,5 et 3,5 mS/cm. En termes de luminosité, les besoins du poivron se situent autour de 150 à 175 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ pour une photopériode de 16 heures avec une concentration de CO_2 se situant entre 700 et 1 000 ppm.³¹

Selon les sources, le rendement par cycle se situe entre 16 et 23 kg par m^2 . La densité de production est entre 3 et 6 plants par m^2 et le cycle de production dure entre 11 et 12 mois. Il y a donc en général un cycle par an.

Tableau 10. Rendement, densité et cycles de production du poivron.

Source	Variété, régie	Rendement par cycle	Densité	Cycle de production
Wees (2016)	Guide général, hydroponie et terreau	n.d	3 plants/ m^2	n.d
Syndicat des producteurs en serre du Québec (2010)	Poivron, sans enrichissement en CO_2	21-22 kg/m^2	n.d	n.d
Calpas (2019)	Poivron, hydroponie	23 kg/m^2	3-6 plants/ m^2	12 mois
Webb (2007)	Poivron en Floride, hydroponie		3-4 plants/ m^2	11 mois
CRAAQ (2020)	n.c., hydroponie	16 kg/m^2	6 plants/ m^2	30 semaines
Cycle de production détaillé du poivron				
Semis	Jour 0			
Repiquage	2 mois après l'ensemencement			
Première récolte	4 mois			
Durée de récolte	7 mois			

Source: Wees (2016)

Fraise

La fraise requiert un écart important entre les températures nocturnes et diurnes soit entre 10 et 12 °C la nuit et entre 20 et 22 °C le jour. L'humidité doit se situer entre 60 et 70 %, le pH de la solution entre 5,5 et 6,0 et la conductivité entre 1,0 et 2,0 mS/cm. Les besoins du fraisier en termes de luminosité se situent entre 200 et 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ pour une photopériode de 16 heures avec une concentration de CO_2 se situant entre 700 et 1 000 ppm.²⁹ La production de la fraise en serre peut se faire à partir de fraises à jours courts ou à jours neutres avec de nombreux cultivars qui ont été mis à l'essai au cours des dernières années.

Selon les variétés, le rendement se situe entre 3,6 et 15,6 kg par m^2 , pour une densité de 6,6 à 49 plants par m^2 . Le cycle de production est également variable selon les variétés, et se situe entre 95 et 275 jours.

Tableau 11. Rendement, densité et cycles de production de la fraise.

Source	Variété, Régie	Rendement par cycle	Densité	Cycle de production
University of Arizona (2015)	Jours neutres, hydroponie	9 kg/ m^2	6.6 plants/ m^2	180 jours (6 mois)
Ramirez-Arias et al. (2018)	Jours courts, hydroponie, verticale	3,5-6,0 kg/ m^2	49 plants/ m^2	95 jours
Ramirez-Arias et al. (2018)	Jours courts, hydroponie, horizontal	11.3 kg/ m^2	18 plants/ m^2	95 jours
Rodrigues de Miranda et al. (2014)	Jours courts et longs, hydroponie	12-15,6 kg/ m^2	10-13 plants/ m^2	275 jours
Painchaud, J. (2016)	Jours courts et longs, hors sol avec substrat	9.0 kg/ m^2	12-14 plants/ m^2	nd
Painchaud, J. (2016)	Jours courts, hors sol avec substrat	4.5 kg/ m^2	12-14 plants/ m^2	nd

Cycle de production détaillé de la fraise

Plantation	Jour 0
Premières fleurs	2 semaines après transplantation
Premiers fruits	8 semaines après les premières fleurs
	Pincement des fleurs entre les semaines 2 et 8

Source: Storey (2016)

²⁹ Zheng et al. (2019). Effects of light intensity and photoperiod on runner plant propagation of hydroponic strawberry transplants under LED lighting. *Int J Agric & Biol Eng*, vol 12 (6) : 26-31

ANALYSE ÉCONOMIQUE

Le Syndicat des producteurs en serre du Québec a démontré que la conduite d'un projet serricole en milieu urbain, notamment lorsque installé sur toit, diffère d'une conduite de serre en zone agricole à la fois dans son installation et dans son fonctionnement.^{30,31}

Une demande croissante des consommateurs

Les légumes de serre ont vu leur popularité augmenter considérablement au Canada ces dernières années. La consommation par habitant des quatre principaux légumes de serre³² a augmenté de 60 % entre 2007 et 2015 pour atteindre 9,9 kg/habitant en 2015. En 2018, cette consommation était de 9,5 kg/habitant. En 2015, les légumes de serre les plus consommés étaient la tomate et le concombre, alors que la laitue de serre était alors très peu consommée en comparaison de la laitue de champ. Au Québec, on a observé les mêmes tendances à la hausse en ce qui concerne la consommation de ces quatre légumes de serre, toutefois la production québécoise ne comble que 31% des besoins de la consommation domestique. Dans le cas de la laitue de serre, la consommation demeure faible et le Québec doit exporter une grande partie de sa production.³³

Acceptation des produits serricoles en hydroponie

Lorsque interrogé sur la technique de culture utilisée, 63 % des canadiens pensent que la qualité des légumes de serres est la même que les légumes cultivés en champ, alors que 27 % pensent que la qualité est meilleure et 9% pensent que la qualité est moins bonne. Notamment, plus de la moitié des gens enquêtés (52%) sont prêts à payer une prime pour des produits frais hors saison cultivés localement en serre plutôt que des produits importés.

Au Québec, l'étude montre des tendances similaires. Ainsi, 79,1 % des québécois sont prêts à payer plus cher pour des produits locaux, dont 35,1 % qui sont prêts à payer un supplément de moins de 10 % et 44 % prêts à payer plus de 10 % de prime. De même 33,5 % des québécois pensent que les produits cultivés en serre sont de meilleure qualité que ceux cultivés en champs, 61,4 % pensent que la qualité est la même, et 5,1 % pensent que la qualité est moins bonne. En outre, 58,7 % des québécois

³⁰ Syndicats des producteurs en serre du Québec. (2013). La serriculture sur les toits en milieu urbain – perspectives de développement dans le contexte québécois. Syndicats des producteurs en serre du Québec.

³¹ Les informations suivantes résument les analyses économiques disponibles. Une collecte de données primaires ainsi que les résultats de projets en cours seront nécessaires pour compléter l'analyse économique. Malgré de nombreuses démarches, nous n'avons pas encore été en mesure d'obtenir de telles données de producteurs urbains, au Québec, au Canada ou aux États-Unis.

³² Tomate, concombre, poivron et laitue.

³³ MAPAQ. (2015). Portrait-diagnostic sectoriel des légumes de serre au Québec.

sont prêts à payer une prime pour des produits frais hors saison cultivés localement en serre plutôt que des produits importés, ce qui est légèrement supérieur à la moyenne nationale.

Tableau 12. Opinion des consommateurs au Québec et dans l'ensemble du Canada sur l'achat de fruits et légumes locaux.

	Québec	Canada
Habitudes de consommation		
Citent le prix des fruits et légumes comme facteur le plus déterminant de l'achat		48 %
Disent que les fruits et légumes ont une part importante dans leur alimentation	79 %	85 %
Se sentent concernés par la provenance de leurs aliments	28 %	32 %
Considèrent que l'endroit où les aliments sont cultivés est très important		25 %
Disposition à payer pour les fruits et légumes locaux		
Sont prêts à payer une prime pour des produits frais cultivés localement	79 %	80 %
Sont d'accord ou fortement d'accord pour payer une prime pour la production fraîche hors saison cultivée localement dans les serres (ou en utilisant d'autres technologies) par rapport aux alternatives importées	59 %	52 %
Opinion de la qualité des produits cultivés en serre		
Trouvent que les produits cultivés dans les serres sont de meilleure qualité	34 %	27 %
Trouvent que les produits cultivés dans les serres sont de la même qualité que les produits cultivés de façon conventionnelle	61 %	63 %
Trouvent que les produits cultivés dans les serres sont moins bons	5 %	9 %

Source : Laboratoire de sciences analytiques en agroalimentaire, Université de Dalhousie.

Coût d'installation

L'implantation d'une serre en milieu urbain engendre des coûts d'installation supplémentaires aux coûts d'implantation en milieu agricole, qui sont liés aux normes d'urbanisme et aux contraintes urbaines (Tableau 13).

Avant la construction de serre en milieu urbain, il est nécessaire d'effectuer soit des analyses de structure sur le bâtiment afin de s'assurer notamment de la stabilité et de la capacité portante du toit, soit des analyses de géologie et de stratigraphie régionale pour identifier la composition du sol et son niveau de contamination, entre autres, si la culture aura lieu en plein sol.

Parmi les coûts supplémentaires des serres sur toit, il faut compter les coûts d'analyse de structure, l'adaptation du toit pour recevoir une nouvelle structure, la membrane élastomère pour recouvrir la structure, les coûts associés aux normes CNB concernant la charge portante et l'accès au toit (ascenseur ou escalier). De plus, il faut prévoir entre 30 % et 40 % de coûts supplémentaires liés au travail de construction en hauteur (permis, main d'œuvre, location d'équipements spécialisés et de

grue pour livrer les pièces et équipements, et sécurité). Par conséquent, la construction d'une serre sur toit coûte près de 4 fois plus que la même construction en zone agricole.³

Parmi les coûts supplémentaires des serres au sol, il faut compter la mise aux normes CNB, l'installation de rideaux thermiques pour limiter la pollution lumineuse, et l'installation d'éclairage horticole pour compenser la perte de luminosité. Ces derniers frais peuvent représenter une augmentation des coûts d'immobilisation en lampes de 10 %.³ Des coûts sont aussi à prévoir pour l'évaluation du sol et sa décontamination, le cas échéant.

Tableau 13. Coûts d'installation d'une serre de 930 m² (10 000 pd²), en fonction du lieu d'installation

	<i>Modèle 1</i>	<i>Modèle 2</i>	<i>Modèle 3</i>
Lieu d'implantation	Au sol, zone agricole	Au sol, zone urbaine	Sur toit, zone urbaine
Description	Serre commerciale équipée	Serre commerciale équipée	Serre commerciale équipée
Coûts d'installation (CA\$/m²)			
Construction	37	37	48-52
Structure	65-86	280-377	657-808
Équipement	161-194	161-194	161-194
TOTAL	226-280	478-608	866-1054

Source : Valeurs pour une serre de 930 m² sous culture à partir des estimations de 2013 par le Syndicat des producteurs en serre du Québec et complété par les données du CRAAQ.

Coûts d'exploitation

Les coûts d'opération d'une serre urbaine sont influencés par les rendements des cultures, le niveau d'automatisation et les frais liés à la distribution des produits. La quantité d'énergie requise pour le chauffage de la serre est influencée par la température extérieure et l'exposition au vent. La modélisation du Syndicat des producteurs en serre du Québec montre que les coûts variables d'exploitation sont légèrement inférieurs pour une serre urbaine comparé à une serre en milieu agricole (106 \$/m² sur toit contre 111 \$/m² en milieu agricole). Toutefois, ce coût inférieur estimé serait principalement dû à un moindre rendement des serres urbaines, qui du fait de leur plus petite taille choisissent souvent de diversifier leurs cultures, engendrant de ce fait une baisse estimée des rendements par rapport à une serre en monoculture. En effet, une diversification des cultures nécessite des compromis sur les conditions optimales climatiques, d'opérations et phytosanitaires. La perte de rendement est estimée à environ 33 % par rapport aux serres commerciales expérimentées en monoculture.⁴ Par contre, on constate que les producteurs urbains en serres développent un modèle avec une spécialisation des serres de production dans un contexte d'un réseau de serres

urbaines de, relative, petite dimension. Le réseau de 4 serres urbaines des *Fermes Lufa* en est un exemple. De même, *Gotham Greens* s'est spécialisé dans la production de légumes feuilles avec les mêmes besoins au niveau des conditions de culture.

En plus des coûts variables d'opération, l'amortissement des coûts d'installation est un facteur important influençant les coûts fixes d'exploitation. Alors que l'amortissement des installations est déjà difficile pour les producteurs en serres en milieu agricole, la modélisation du Syndicat des producteurs en serre du Québec montre que dans le cas d'une production de tomates, les amortissements ne sont pas couverts et encore moins le rendement du capital qui serait requis pour remplacer les infrastructures. Le modèle de serre sur toit engendre une perte de 153 \$ par m² alors que cette perte est de 37 \$ par m² pour une serre en milieu agricole.³

Ici encore, l'examen de cas réels permettrait de mieux comprendre l'influence des facteurs de production sur les coûts d'opération pour dresser un portrait plus précis des coûts d'opération. Notamment, le projet *GROOF*, en Europe, ainsi que les projets de serres du Laboratoire sur l'agriculture urbaine (AU/LAB) dans le cadre de *Montréal en Commun* devraient apporter en 2021 de nouvelles analyses quant à l'influence de la récupération de chaleur (du bâtiment sur lequel est installé une serre sur toit, ou provenant d'industries voisines) sur les coûts d'exploitation.

Viabilité économique

Il y a encore peu de données spécifiques concernant la viabilité économique des serres en milieu urbain. La modélisation du Syndicat des producteurs en serre du Québec montre qu'une entreprise en serriculture urbaine doit maintenir un prix de vente élevé (supérieur à 5,97 \$/kg pour la tomate) pour rentabiliser sa serre. L'entreprise doit capturer la marge de distribution autant que possible en s'impliquant considérablement dans un mode de mise en marché le plus court possible.³ Une estimation similaire à partir de données économiques de *BrightFarms* montrait que pour une production de laitue, le prix de vente nécessaire pour atteindre le seuil de rentabilité était de 6,71 \$/kg.³⁴

42% des entreprises serricoles urbaines ont fait le choix de diversifier leurs activités, incluant des activités de distribution, de transformation ou ayant à disposition d'autres terres à proximité pour rentabiliser leur entreprise. Plus de recherche est nécessaire pour comprendre l'influence de ces choix sur la rentabilité des exploitations.

L'étude *Autogrow & Agritecture* de 2020 apporte quelques éléments de réponse quant à la viabilité économique des serres sur toit. Ainsi en 2020, 72% des serres sur toit avaient un revenu inférieur à

³⁴ Tasgal, P. (2019). The economics of local vertical and greenhouse farming are getting competitive. AgFunder News

33 000 \$ (Figure 6). Malgré ces faibles revenus 58% des participants ont atteint le seuil de rentabilité ou génèrent un profit (Figure 7). Ces chiffres amènent plus de questions que de réponses et une analyse plus en profondeur sera nécessaire pour mieux comprendre la situation réelle de ces entreprises.

Figure 6. Distribution des revenus annuels des exploitations serricoles sur toit

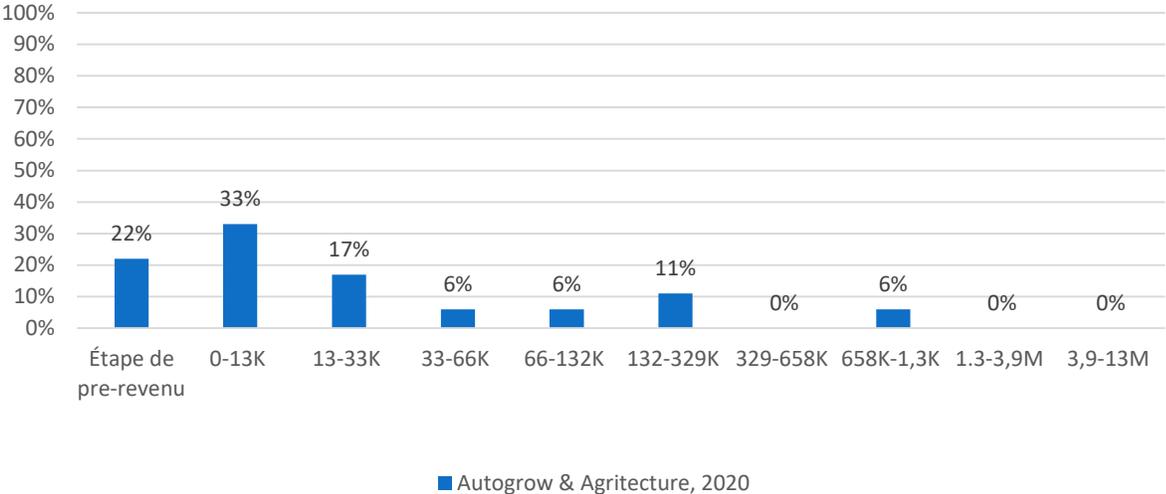
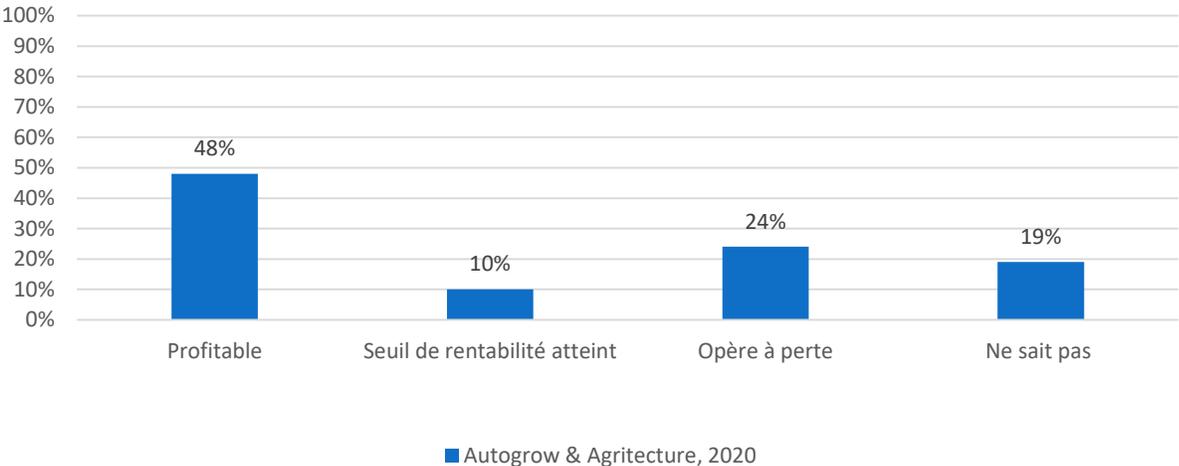


Figure 7. Rentabilité des exploitations serricoles sur toit





Carrefour de recherche, d'expertise
et de transfert en agriculture urbaine

CRETAU
