



## FICHE TECHNIQUE

**Production maraîchère urbaine en intérieur d'une structure bâtie**

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

Conseillère agronomique, Production en environnement contrôlé, Agronome  
Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine du Québec  
Laboratoire sur l'agriculture urbaine

Marie-Josée Vézina

Coordinatrice du volet agronomique, Agronome  
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

## **DIRECTION**

Éric Duchemin

Directeur scientifique  
Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine du Québec  
Laboratoire sur l'agriculture urbaine

## **RÉVISION**

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

## **Pour citer de texte**

Séguin, R., M.J. Vézina, A. Cohen et E. Duchemin (2021). Fiche technique: production maraîchage urbaine en intérieur d'une structure bâtie. Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine/ Laboratoire sur l'agriculture urbaine. 20 p

Crédits photo page de couverture : Aessence

## TABLE DES MATIÈRES

CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES POUR PARTIR UNE FERME EN INTÉRIEUR	5
Localisation de l'exploitation	5
Technique de production	7
Équipements requis	9
Pratiques d'hygiène et salubrité	14
EFFICACITÉ COMPARÉE DE L'AGRICULTURE EN INTÉRIEUR POUR L'EAU, L'ESPACE ET L'ÉNERGIE	16
CYCLES DE PRODUCTION ET RENDEMENTS ASSOCIÉS	18

## CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES POUR DÉMARRER UNE FERME EN INTÉRIEUR

### Localisation de l'exploitation

#### *Zonage et réglementation*

Considérant qu'une ferme d'intérieur, par sa nature, n'a pas besoin d'un éclairage naturel pour fonctionner, il est possible d'installer une telle exploitation agricole dans des espaces autrement déconsidérés pour la production maraîchère. Un des principaux avantages des fermes d'intérieur est la possibilité de s'établir à proximité des consommateurs. Cependant, il faut s'assurer que le zonage municipal permet la production agricole. L'agriculture en milieu urbain est assez récente, il est alors fort possible que la réglementation municipale ne se soit pas adaptée pour une telle activité et que l'usage agricole ne soit pas accepté dans le zonage où se situerait l'exploitation. Il faut donc s'en assurer et faire les démarches de conformité.

Une ferme d'intérieur peut s'établir de 2 façons : soit par la construction d'un nouveau bâtiment, ou l'établissement de l'exploitation dans un bâtiment existant. En milieu urbain, ce deuxième cas est plus courant et le producteur est généralement locataire du bâtiment.<sup>1</sup> L'aménagement d'une exploitation dans un bâtiment est préférable en raison du coût moindre d'investissement de départ pour le producteur, et par l'utilisation d'espaces vacants ou sous-utilisés. L'aménagement est ainsi l'option la plus réaliste. Pendant la phase de conception d'une exploitation de ferme urbaine, il est essentiel de connaître le taux d'occupation des locaux industriels ou commerciaux de la région visée pour l'installation de l'exploitation et les différents coûts de location de l'espace souhaité.

Bien qu'une ferme d'intérieur en milieu urbain soit de manière générale près des consommateurs pour la mise en marché de la production, il est important d'identifier les marchés clés, si possible à proximité. Localiser sa ferme près des marchés et des grandes artères de transport est un moyen efficace pour réduire les coûts de transport entre la ferme et les marchés, ainsi que le temps entre la récolte et la commercialisation des aliments. En ville, la distance est généralement un indicateur insuffisant pour évaluer la qualité de la localisation d'une exploitation.

Si la ferme agit comme point de vente, le site choisi doit pouvoir offrir suffisamment de places de stationnement pour les clients. La ferme devrait en outre avoir accès à un quai de livraison pour transporter les aliments aux marchés et pour accepter les livraisons des matériaux.

#### *Accès aux services municipaux*

Comme n'importe quelle industrie, l'exploitation agricole d'une ferme d'intérieur génère des déchets inorganiques et organiques. De plus, elle nécessite un accès à l'eau et une source d'énergie stable (électricité et gaz).

---

<sup>1</sup> Thomaier, S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U.B., Sawicka, M. (2014). Farming in and on urban building: present practice and specific novelties of zero-acreage farming (Z-farming). *Renewable Agriculture and Food Systems*. 30(1): 43-54.

La gestion des déchets est cruciale dans une ferme d'intérieur, puisque la mauvaise gestion réduit l'efficacité d'utilisation de l'espace et peut favoriser la prolifération des problématiques phytosanitaires. Par conséquent, la ferme doit avoir accès à un conteneur à ordures ainsi qu'une cueillette régulière des déchets, particulièrement pour les matières organiques végétales. L'accès au réseau de compostage est idéal pour gérer les matières organiques résiduelles produites à la ferme. Ou encore, l'entreprise agricole doit prévoir un composteur industriel correspondant à ces besoins, ce qui demande de nouvelles demandes de permis et possiblement des changements réglementaires. Un tel élément peut être une opportunité de maillage avec d'autres sources de matières organiques dans le secteur de la ferme et le développement d'un projet de compostage décentralisé au niveau du secteur industriel concerné.

La gestion de l'évacuation de l'eau est également cruciale puisqu'elle contient des fertilisants non absorbés. Selon le Code national de la plomberie (CNP), il est permis de raccorder un système d'irrigation au réseau pluvial si la teneur en impuretés n'est pas dangereuse pour la santé. De même, l'eau de refroidissement et de condensation des installations de climatisation, de ventilation et de chauffage (CVC) peut être évacuée dans le réseau pluvial. Cependant, il est interdit de verser des eaux contenant des produits chimiques dans le réseau pluvial. Il est donc important de consulter le CNP avant d'installer la plomberie.<sup>2</sup> Un système de réutilisation et de filtration de l'eau doit être prévu. L'exploitation peut être tenue d'obtenir des permis, entre autres en ce qui concerne les rejets.

### *Caractéristiques du bâtiment*

Que la ferme s'installe dans un ancien bâtiment ou un bâtiment nouvellement construit, les dimensions du bâtiment sont très importantes puisqu'elles déterminent la superficie de production potentielle. Les dimensions de la ferme affectent également les caractéristiques des équipements.

Prenant la règle générale pour les serres, les espaces non productifs représentent environ 10% de la superficie totale d'une ferme d'intérieur. Ces espaces incluent les bureaux, les quais de livraison, les toilettes, et les zones d'entreposage.<sup>3</sup> Par exemple, un producteur visant une production sur 500 m<sup>2</sup> devra trouver un espace ou construire un bâtiment d'au moins 550 m<sup>2</sup>.

Il faut également considérer la hauteur de la ferme puisque celle-ci affecte la technique de culture et les coûts opérationnels. Une zone de production avec des plafonds de plus de 6 m facilite la production à la verticale, soit avec des tours ou des étagères. La production verticale permet de multiplier la surface de production sans augmenter la superficie au sol de la ferme.

En plus des dimensions, il faut considérer l'isolation du bâtiment. La rentabilité d'une ferme d'intérieur dépend fortement de l'obtention des conditions environnementales optimales à la production maraîchère. Une ferme d'intérieur se doit ainsi d'être bien isolée, ce qui réduit le transfert de la chaleur et les fuites d'air. Que la ferme soit nouvellement construite ou installée dans un bâtiment existant, il est utile de bien connaître les matériaux utilisés pour les murs et le plafond afin d'estimer la

---

<sup>2</sup> Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies. (1995). Code national de la plomberie. Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies. Ottawa.

<sup>3</sup> Wees, D. (2016). The Greenhouse Handbook - 7th edition. McGill University. 338 p.



déperdition thermique et de décider si une isolation supplémentaire est souhaitable. Les matériaux de construction doivent également être en mesure de résister à un taux d'humidité élevé, caractéristique d'une ferme d'intérieur. Ainsi, il n'est pas recommandé d'utiliser du bois puisque celui-ci peut se déformer dans des conditions d'humidité élevée, sans compter les risques de dégradation<sup>3</sup>. Une ventilation devra assurer que l'humidité ne viendra pas détériorer la structure du bâtiment.

### Technique de production

La production maraîchère en ferme d'intérieur se fait majoritairement en hydroponie. L'hydroponie permet de contourner les risques phytosanitaires associés aux sols urbains, tels que la présence des contaminants et ravageurs et pathogènes. En plus, l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans ce type de système s'est avérée supérieure dans les fermes d'intérieur que dans les serres et les exploitations agricoles en plein sol.<sup>4</sup> Étant donné qu'une ferme d'intérieur est complètement isolée, il est même possible de récupérer l'évapotranspiration des plantes pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau.<sup>5</sup>

Il existe plusieurs techniques en hydroponie, et le choix dépend avant tout de la production visée. Les techniques largement utilisées par les fermes d'intérieur sont l'aéroponie, la culture en eau profonde et le film nutritif<sup>3,4,6</sup> (Tableau 1).

Figure 1. Système hydroponique en tours verticales (gauche; *Plenty*) et en eau profonde (droite; *Spread Co., Ltd., Kameoka Plant*)



<sup>4</sup> Orsini, F., Pennisi, G., Zulfiqar, F., Gianquinto, G. (2020). Sustainable use of resources in plant factories with artificial lighting (PFALs). *European Journal of Horticultural Sciences*. 85(5):297-309.

<sup>5</sup> Freisinger, U.B., et al. (2015). There's something growing on the roof. Rooftop greenhouses. Idea, Planning, Implementation. *Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Müncheberg*. 56 p.

<sup>6</sup> Lakhari, I.A., Gao, J., Syed, T.N., Chandio, F.A., Buttar, N.A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*. 13(1): 338-352.

Tableau 1. Caractéristiques des différentes techniques de production hydroponique.

<b>Technique hydroponique</b>	<b>Fonctionnement</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>	<b>Productions horticoles</b>
Aéroponie	Racines suspendues dans un réservoir scellé; la solution nutritive est fournie par pulvérisation	Très économe en eau; fonctionne en murs verticaux	Faible capacité de tampon; plus coûteux à installer; exige une main-d'œuvre spécialisée; obstruction des buses; maladies fongiques	Légumes feuilles et fines herbes, fraises
Culture en eau profonde (DWC)	Semis transplantés en petits pots insérés dans un panneau flottant, les racines suspendues dans la solution nutritive aérée	Simple à utiliser; grand volume d'eau stabilise la température; peut s'installer en étage avec des bassins peu profonds	Panne de pompe à air peut asphyxier les racines; limité aux productions compactes; température chaude limite l'oxygénation de l'eau	Légumes feuilles et fines herbes, fraises
Film nutritif (NFT)	Semis transplantés en gouttières légèrement inclinées, sans substrat additionnel; irrigation par ruissellement	Bonne oxygénation de la solution; modulable; peut s'installer verticalement ou en étage	Défaillance de pompe entraîne rapidement un stress hydrique; peu de soutien racinaire; température chaude limite l'oxygénation de l'eau	Fines herbes, légumes feuilles, fraises



## Équipements requis

### *Système de climatisation, ventilation et chauffage (CVC)*

Le système de climatisation, ventilation et chauffage (CVC) est le plus important des équipements dans une ferme d'intérieur. Il permet de contrôler la température, le taux d'humidité et les changements d'air. Alors que les serres contrôlent ces mêmes paramètres utilisant plusieurs équipements, ces équipements sont mal adaptés aux fermes d'intérieur en raison des contraintes d'espace. Un système CVC intègre les contrôles de chaque paramètre dans un seul système, ce qui économise l'espace. Certains éléments du système sont installés dans la ferme, mais l'unité principale peut s'installer sur le toit pour gagner en espace de production.

Le système CVC représente un coût d'investissement considérable, mais il est toutefois nécessaire. Il n'est pas recommandé de simplement choisir le système le plus abordable. Pour bien répondre aux besoins des productions, le système doit être adapté à la surface de production, aux températures et taux d'humidité ciblés, et aux sources de production de chaleur dans la zone de production. L'installation d'un système bien adapté permet de maintenir un environnement de croissance stable, ce qui rend une ferme d'intérieur plus rentable.

En choisissant un système CVC, il est recommandé de collaborer avec une entreprise spécialisée qui a de l'expérience avec les installations agricoles en intérieur, sinon ce sera de la recherche et développement que vous réaliserez avec des coûts d'investissement financier et en ressources humaines pour votre entreprise.

Des recherches ont estimé que le système CVC représente 30-35% des coûts énergétiques d'une ferme d'intérieur<sup>4</sup>. Ces coûts peuvent être réduits en récupérant de la chaleur dans la ferme et des locaux ou bâtiments avoisinants. La récupération de la chaleur provenant de la ferme est possible au moment de l'évacuation d'air vers l'extérieur par la ventilation. Ainsi, l'échangeur de chaleur d'un système CVC permet de transférer la chaleur de l'air évacué à l'air entrant de l'extérieur.<sup>7</sup>

### *Lampes horticoles*

Une ferme d'intérieur se distingue d'une serre urbaine du fait qu'elle est complètement isolée de l'extérieur, elle doit donc fournir l'ensemble de l'éclairage, artificiel, pour la croissance des plantes. Il existe de nombreuses variétés de lampes horticoles pouvant être utilisées pour une production agricole en intérieur.

Les lampes électroluminescentes (lampes à DEL) sont les plus largement utilisées en raison de leur efficacité énergétique, de la possibilité de produire un spectre étroit et optimisé pour les plantes, de leur longue durée de vie et de leur moindre production de chaleur. Néanmoins, il est possible d'utiliser

---

<sup>7</sup> Liang, Y., Costello, T.A. (2016). Saving energy with ventilation heat recovery in poultry barns. *University of Arkansas Division of Agriculture*. FSA1077. 6 p.

des lampes fluorescentes, des lampes à décharge haute pression, les lampes aux halogénures métalliques et les lampes plasma de soufre et les lampes à induction magnétique <sup>8</sup> (Tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques des lampes horticoles adaptées aux fermes d'intérieur.

Type de lampe	Avantages	Inconvénients	Durée de vie (h)
Lampe électroluminescente (Lampe à DEL)	Spectre étroit et modifiable; intensité réglable; production de chaleur faible; efficacité énergétique	Lumière directionnelle donc couvrant une moindre superficie (moins diffuse); coût d'achat élevé	50,000
Lampe fluorescente	Efficacité énergétique; moindre coût d'achat; production de chaleur plus faible	Contient du mercure; perte d'efficacité lors des marches et arrêts fréquents; intensité non modulable	12,000-20,000
Sodium à haute pression (HPS)	Intensité lumineuse élevée	Production de chaleur; spectre plutôt « chaud » (rouge, orange, jaune); intensité non modulable	24,000
Halogénures métalliques (MH)	Spectre lumineux équilibré	Ampoule s'assombrit avec le temps; plus coûteux que les lampes à HPS; intensité non modulable	20,000
Lampe plasma de soufre	Longue durée de vie	Interférence possible avec le wifi; spectre culmine à 500 nm, offrant donc un spectre incomplet	100,000
Induction magnétique	Longue durée de vie; spectre plus complet que la lampe plasma de soufre	Coûteux; moins efficace que les lampes HPS et MH	100,000

<sup>8</sup> G2V Optics Inc. (2020). Horticultural lighting for commercial growers. G2V Optics Inc. 42 p.

Figure 2. Lampes électroluminescentes communes (gauche; *Spread Co., Ltd.*) et à spectre étroit (droite; *Local by Atta*).



Les lampes horticoles ont une forte influence sur la consommation énergétique d'une ferme d'intérieur. En outre, l'éclairage produit de la chaleur qui doit être évacuée par le système de CVC. Comme, le contrôle environnemental représente environ 30-35% de la consommation énergétique, l'installation des lampes horticoles produisant peu de chaleur a un impact positif sur la consommation énergétique.<sup>4</sup> Malgré le coût d'achat élevé, il est ainsi recommandé d'utiliser les lampes électroluminescentes dans une ferme d'intérieur. Les lampes électroluminescentes émettant le rouge et le bleu sont communes puisque ces couleurs optimisent la photosynthèse. Cependant, l'utilisation des lampes électroluminescentes à spectre complet est en croissance dans les fermes d'intérieur. Si c'est une production de légume feuille qui est prévue, il est possible d'utiliser des lampes fluorescentes, quoique la performance photosynthétique serait réduite. Pour les productions exigeant une intensité lumineuse élevée, les lumières à HPS sont bien adaptées, mais augmenteront les coûts associés à la climatisation.<sup>3</sup>

#### *Système de gestion de l'eau*

Tout comme l'éclairage, la gestion de l'eau est un élément crucial dans le fonctionnement d'une exploitation en intérieur. Elle nécessite 3 équipements clés, soit un système de dosage des éléments nutritifs (fertilisants), un système d'osmose inverse et une pompe à air.

Le système de dosage sert à maintenir une solution nutritive homogène de haute qualité. Un tel système permet de surveiller la conductivité, le pH et la température de la solution nutritive. En outre, il contrôle l'ajout des fertilisants et des ajusteurs de pH au réservoir afin que les plantes ne manquent pas de nutriments et puissent absorber les engrais. Si la ferme utilise un système hydroponique permettant la recirculation de l'eau d'irrigation, le système de dosage permet également d'analyser l'eau sortant du système et d'ajouter des engrais avant de retourner la solution dans le système hydroponique. L'analyse peut se faire simplement en mesurant la conductivité de la solution, et en rajoutant des engrais quand la conductivité est trop basse. Cette méthode simple est efficace, ne

permet toutefois pas de surveiller des nutriments spécifiques. Une analyse plus précise exige des capteurs aux ions, dont les coûts d'achat et d'opération sont plus élevés. Le système d'irrigation peut aussi être développé pour qu'il surveille et dose la solution nutritive.

Un système d'osmose inverse 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 utilisée, notamment sa dureté. L'eau dure a une concentration élevée de carbonates et bicarbonates pouvant précipiter dans le système hydroponique et réduire l'écoulement de la solution nutritive. Une telle situation est évitée grâce à un système d'osmose inverse. En outre, commencer en utilisant de l'eau pure (filtrée) facilite la précision dans la préparation de la solution nutritive. Comme un système d'osmose enlève autant les engrais que les contaminants dans l'eau d'irrigation d'un système, la filtration devrait se faire seulement lors du premier dosage de la solution pour réduire la perte des fertilisants.<sup>9</sup> Bien que les systèmes d'osmose inverse soient coûteux, les avantages d'utiliser une eau filtrée en hydroponie dépassent les inconvénients de coût.

### *Injecteur de gaz carbonique*

En favorisant l'assimilation du carbone par les plantes, l'enrichissement en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) dans un environnement contrôlé de production agricole améliore la croissance et la vigueur des productions.<sup>10</sup> Pour la majorité des productions, le rendement photosynthétique s'accroît lorsque la concentration de CO<sub>2</sub> passe de 340 à 1 000 ppm (parties par million). Cet enrichissement peut se faire par la combustion de combustibles fossiles ou par la vaporisation de gaz carbonique liquide. Si le premier a l'avantage de jumeler le chauffage de l'espace de production avec l'enrichissement carboné, une combustion ou l'utilisation de carburant contaminé peut causer des dommages aux végétaux.<sup>11</sup> La plupart des sources de gaz naturel et de propane ne contiennent que peu d'impuretés, mais la combustion peut produire des composés dangereux. La vaporisation du gaz carbonique permet quant à elle d'injecter du gaz carbonique pur, éliminant donc la possibilité d'introduire des gaz dangereux dans la zone de production.

Il existe également quelques opportunités de valorisation des matières organiques résiduelles en milieu urbain pour produire du gaz carbonique. Les champignonnières urbaines présentent une telle opportunité. Le compostage des résidus provenant des champignonnières produit une quantité importante de CO<sub>2</sub>, ces résidus de cultures devenant une ressource pour la production de légumes feuilles en hydroponie. L'élevage des insectes en milieu urbain est un autre exemple. Cette filière, en croissance au Québec,<sup>12</sup> produit beaucoup de gaz carbonique dans le cadre de ses activités. Ainsi, si

---

<sup>9</sup> Watson Well. (2019). The disadvantage of reverse osmosis in agricultural applications. En ligne. <https://watsonwell.com/disadvantages-reverse-osmosis-agricultural-applications/>. Consulté le 27 janvier 2021.

<sup>10</sup> Les Producteurs en serre du Québec. (2018). Fiche 9: La récupération du gaz carbonique à partir des gaz de combustion du système de génération de chaleur. 8 p.

<sup>11</sup> Khosla, S. (2002). Le gaz carbonique dans les serres. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales. Agdex 290/27.

<sup>12</sup> Cohen, A. et E. Duchemin (2020). Fiche économique – fermes d'élevage d'insectes comestibles. Laboratoire sur l'agriculture urbaine/Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine. 34 p.

Bernier, A.-M., Duchemin É. (2020). Portrait de l'agriculture urbaine commerciale au Québec en 2019. Carrefour

une ferme d'élevage d'insectes s'établit près d'une ferme d'intérieur, il est donc envisageable de jumeler la ventilation de l'élevage avec l'enrichissement en CO<sub>2</sub> d'une ferme d'intérieur.

### *Outils de mesure*

L'optimisation des procédés exige la collecte et l'analyse de données quant aux conditions environnementales de l'exploitation, à l'utilisation de l'eau, à l'éclairage, aux rendements et aux incidences de maladies ou infestations de ravageurs. Il est ainsi primordial d'avoir des outils de mesure afin de vérifier et de suivre le fonctionnement des équipements. Deux capteurs essentiels sont le pH-mètre et le conductimètre, qui servent à mesurer le pH et la conductivité de la solution nutritive. Un photomètre est utile pour les mesures ponctuelles de la performance des lampes horticoles alors qu'un compteur de chlorophylle permet d'estimer la performance photosynthétique des plantes. L'évaluation de la couleur et de la teneur en sucre peut se faire avec un spectromètre et réfractomètre, respectivement. Par contre, ses outils sont de plus en plus intégrés dans les systèmes d'automatisation de la production, particulièrement présents dans les fermes en intérieur.

### *Automatisation*

Plusieurs fermes d'intérieur aspirent aux technologies de pointe, telles que le contrôle des systèmes de production à distance, l'automatisation des activités agricoles de l'ensemencement à la récolte, et l'intelligence artificielle permettant de prendre des décisions en temps réel afin d'optimiser les conditions environnementales de l'environnement de production et des différentes étapes de croissance des plantes. Ces technologies permettent de réduire la main-d'œuvre requise et d'optimiser les procédés. L'automatisation de base intègre le contrôle de l'éclairage, de la température, de l'humidité et de la solution nutritive. Dans une ferme d'intérieur complètement automatisée, la main-d'œuvre interagit peu avec les plantes et les décisions sont surtout prises par l'intelligence artificielle.<sup>13</sup> La plupart des fermes d'intérieur actuellement en exploitation se trouvent à un niveau intermédiaire d'automatisation, où la main-d'œuvre effectue encore quelques activités agricoles, dont le repiquage et la récolte.

L'automatisation des procédés de production exige un système de contrôle global intégrant le fonctionnement de l'ensemble des équipements susmentionnés, dans une interface simple d'utilisation. L'interface fait typiquement partie d'un logiciel dont un abonnement est requis auprès de son développeur. Le producteur peut donc surveiller son exploitation en temps réel et à distance. La collecte de données se fait par des capteurs de pH, conductivité, de lumière, de température et humidité relative. En outre, un nombre croissant de fermes utilisent des technologies d'imagerie pour surveiller l'état physique de la production et la présence potentielle de ravageurs ou de maladies. L'automatisation représente un investissement très élevé, mais avec une promesse d'optimiser les procédés pour avoir une production uniforme et stable, et pour limiter les coûts de main-d'œuvre. Une

---

de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine du Québec (CRETAU) et Laboratoire sur l'agriculture urbaine, Montréal (AU/LAB), Montréal, Québec, 24 p.

<sup>13</sup> Bertram, S. (2019). Automation: The final frontier of vertical farming. HortiDaily. En ligne.

<https://www.hortidaily.com/article/9098290/automation-the-final-frontier-of-vertical-farming/>. Consulté le 28 janvier 2021.

source estime le coût d'installation de modèles avancés de robotique à 300-450 \$ par m<sup>2</sup>, alors que la surface de production minimum pour rentabiliser la robotique serait de 50 000 m<sup>2</sup>.<sup>14</sup>

Figure 3. Robot transplanteur et robot «déplaceur».



Crédit: Iron Ox.

### Pratiques d'hygiène et salubrité

Alors que le contrôle des insectes ravageurs et pathogènes est essentiel dans tous les systèmes agricoles, il est particulièrement important pour les fermes d'intérieur. Une ferme d'intérieur est complètement close et, idéalement, stérile. Puisque la zone de production offre une source alimentaire notable pour des insectes, mais pas de prédateur naturel, l'introduction non désirée d'insectes ravageurs et pathogènes peut décimer une production. Il existe plusieurs méthodes pour contrôler une population de ravageurs qui s'introduit dans une exploitation, mais l'important est la prévention - prévenir leur introduction dans la ferme. De bonnes pratiques d'hygiène et de salubrité de la part des employés, ainsi qu'une conception intelligente, forment la première ligne de défense.

Concernant la conception, il est important d'identifier les points vulnérables de la ferme, tels que les entrées et sorties d'air, les portes et fenêtres, le quai de livraison, etc. Puisque les ravageurs sont introduits de l'extérieur, il est nécessaire d'avoir un vestibule et des bureaux séparés de la zone de production. Tous les équipements, les emballages et le matériel ont le potentiel de transporter des ravageurs, alors il faut limiter le transport des objets entre les salles auxiliaires et la zone de production. En outre, il est possible de diviser la zone de production en multiples compartiments afin de limiter ou restreindre la transmission des pathogènes ou le déplacement des ravageurs lorsqu'il y a une infestation.

L'hygiène adéquate commence dès l'entrée de la ferme. La première étape est de déposer les sacs, manteaux et chaussures dans un endroit désigné, à l'extérieur de l'espace de production (soit dans un

<sup>14</sup> Hughes, S. (2017). Vertical farming: does the economic model work? Nuffield Farming Scholarships Trust. 61 p.



vestibule ou un bureau). Ensuite, tous les employés et idéalement tous les visiteurs doivent revêtir un uniforme composé d'une blouse de laboratoire, d'une paire de gants en latex ou nitrile, un bonnet et des chaussures à bout fermé, recouverts de couvre-chaussures. Pour réduire davantage le risque de transmission des ravageurs par les chaussures, il est recommandé de placer un bain de pieds désinfectant à la porte de l'exploitation.<sup>15</sup>

Figure 4. L'uniforme pour la production dans une exploitation agricole en environnement contrôlé comprend des gants, un masque, un bonnet et une blouse de laboratoire. Des lunettes de protection pour les UV. (Crédit : Fermes Madar et Plenty).



Dans la zone de production, la gestion des matières organiques résiduelles est aussi cruciale, car la décomposition de telles matières favorise les problématiques phytosanitaires. Ces matières résiduelles comprennent les fruits, tiges et feuilles taillées et des substrats organiques (c.-à-d., la fibre de coco, le chanvre, les billes d'argile) utilisés dans le système hydroponique. Ces matières doivent être sorties de la ferme et placées soit dans un bac de compostage ou un conteneur à ordures, s'il est impossible de les composter sur place dans un composteur industriel.

Le risque d'infestation de ravageurs (insectes) et la transmission de pathogènes est réduit en s'assurant de n'utiliser que des matériaux stériles. C'est pour cela que la pratique courante en fermes d'intérieur est de produire en hydroponie, limitant donc le risque de contamination.<sup>3</sup> Cependant, les substrats hydroponiques utilisés peuvent abriter des microorganismes s'ils ne sont pas entreposés correctement ou si l'emballage est percé pendant le transport. Il est également important d'analyser la qualité de

---

<sup>15</sup> Smith, T. (2015). Cleaning and disinfecting the greenhouse. UMass Extension: Greenhouse Crops and Floriculture Program. En ligne. <https://ag.umass.edu/greenhouse-floriculture/fact-sheets/cleaning-disinfecting-greenhouse>. Consulté le 20 janvier 2021.



l'eau, car celle-ci peut être porteuse de microorganismes néfastes et, le cas échéant, utiliser un système d'osmose inverse et un traitement par rayonnement UV pour la stérilisation. Après un cycle de production, il faut enlever toute matière biologique résiduelle et bien nettoyer la zone de production. Ce nettoyage consiste à désinfecter les équipements et le plancher.<sup>3</sup>

En plus des pratiques mentionnées ci-dessus, la gestion des ravageurs se fait avec des pièges collants et des agents de lutte biologique.<sup>3</sup> Il est également possible d'utiliser des produits chimiques contre les ravageurs et les pathogènes, mais le consommateur s'attend de plus en plus à des produits sans pesticides. Si la prévention des infestations est une priorité pour tous producteurs agricoles, elle l'est tout particulièrement en environnement contrôlé.

### **EFFICACITÉ COMPARÉE DE L'AGRICULTURE EN INTÉRIEUR POUR L'EAU, L'ESPACE ET L'ÉNERGIE**

Le secteur maraîcher en intérieur se veut répondre à un certain nombre de défis de l'agriculture moderne telle que la rareté grandissante des ressources naturelles en lien avec l'accroissement et l'urbanisation de la population mondiale. Pour mieux comprendre comment le maraîchage en intérieur peut répondre à l'enjeu des ressources naturelles, une revue systématique de la littérature effectuée par Orsini et al.<sup>16</sup> en 2020 compare l'efficacité de la production en intérieur, en serre et en pleine terre pour l'utilisation de l'eau, de l'espace et de l'énergie. L'étude compare également l'empreinte carbone de ces 3 formes d'agriculture.

Selon les sources et les espèces, la production en intérieur utilise entre 1,1 fois plus et 26,7 fois moins d'eau que la production en champ, et entre 1,2 fois plus et 16 fois moins d'eau que la production en serre (Tableau 3). Lorsque comparées à la production en champ, les espèces pour lesquelles le gain d'efficacité en eau de la production en intérieur est potentiellement le plus élevé sont la laitue et le basilic. Lorsque comparé à la production en serre, c'est la laitue qui conserve potentiellement le plus d'eau.

Le tableau 4 montre que selon les sources et les espèces, la production en intérieur utilise entre 17 et 750 fois moins d'espace que la production en champ, et entre 2 et 300 fois moins d'espace que la production en serre. L'espèce pour laquelle le gain d'efficacité d'espace de la production en intérieur est potentiellement le plus élevé est le basilic, si comparé à la production en champ. Lorsque comparé à la production en serre, c'est la roquette qui conserve potentiellement le plus d'espace.

---

<sup>16</sup> Orsini, F., Pennisi, G., Zulfiqar, F., and Gianquinto, G. (2020). Sustainable use of resources in plant factory with artificial lighting (PFLAs), *Eur. J. Hortic. Sci.* 85(5), 297–309

Tableau 3. Efficacité de l'utilisation de l'eau pour 3 types de production, exprimée en g produits (en poids frais) par litre d'eau consommé.

Espèce	Ratio d'efficacité de l'eau (poids légume en gramme/ litre d'eau utilisé)					
	Production en champ		Production en serre		Production en intérieur <sup>a</sup>	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Laitue	3	20	5	60	45	80
Basilic	2	11	20	22	33	44
Roquette	5	8	5	15	18	26
Chicorée	2	22	24	26	20	26

Note : <sup>a</sup> Estimation ne considère pas la récupération d'eau dans l'air par déshumidification et recirculation, Source : Orsini et al (2020)

Tableau 4. Efficacité de l'utilisation de l'espace pour 3 types de production, exprimée en g produits (en poids frais) par m<sup>2</sup> par jour d'espace utilisé.

Espèce	Ratio d'efficacité de l'espace (poids légume en gramme/mètre carré/jour d'utilisation)					
	Production en champ		Production en serre		Production en intérieur	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Laitue	10	15	100	300	1300	3300
Basilic	2	40	70	150	700	1500
Roquette	10	50	5	180	1000	1500
Chicorée	5	30	5	300	700	1100

Source : Orsini et al (2020)

Dans le cas de l'efficacité énergétique, ce sont les productions en champ et en serre qui sont les plus efficaces puisqu'elles utilisent la lumière naturelle comme source principale pour la photosynthèse. Le tableau 5 montre que selon les sources, la production en intérieur utilise entre 7 et 3000 fois plus d'énergie que la production en champ, et entre 5 fois moins et 190 fois plus d'énergie que la production en serre. Selon les auteurs, l'éclairage d'une ferme en intérieur représente 50 à 55 % de la consommation d'énergie. Le contrôle climatique représente entre 30 et 35 % de la consommation d'énergie, alors que l'espace de travail représente 10 à 15 % de cette consommation.

Tableau 5. Efficacité de l'utilisation de l'énergie pour 3 types de production, exprimée en g produits (en poids frais) par kWh utilisé.

Espèce	Ratio d'efficacité de l'énergie (poids légume en gramme/kWh)					
	Production en champ		Production en serre		Production en intérieur <sup>a</sup>	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Laitue	1000	3000	30	190	1	140

Note : <sup>a</sup> Photopériode de 16h par jour, Source : Orsini et al (2020)

L'empreinte carbone est également plus élevée pour la production en intérieur, comparée à la production en champ et en serre. La consommation en électricité est le principal facteur influençant l'empreinte carbone. Le tableau 6 montre que l'empreinte carbone de la production en intérieur serait de 26 à 2500 fois supérieures comparée à la production en champ. Lorsque comparée à la production en serre, l'empreinte carbone de la production en intérieur serait entre 3 et 119 fois supérieure.

Tableau 6. Empreinte carbone pour 3 types de production, exprimée en kg de CO<sub>2</sub> par kg produit (en poids frais).

Espèce	Empreinte carbone (kg CO <sub>2</sub> /kg légumes)					
	Production en champ		Production en serre		Production en intérieur	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Laitue	0.01	0.38	0.21	3.15	10	25

Source : Orsini et al (2020)

## CYCLES DE PRODUCTION ET RENDEMENTS ASSOCIÉS

La littérature indiquant les rendements et les cycles de la production en intérieur est limitée. La plupart des études ont lieu sur la laitue et quelques données existent sur d'autres espèces comme le basilic ou la fraise. Ces données sont toutefois parcellaires. Par exemple, les rendements sont souvent exprimés en têtes de laitue ou en kg par m<sup>2</sup> au sol, ce qui ne tient pas compte de la grande diversité des installations, dont celles en étagères superposées, qui peuvent avoir entre 5 et 15 étages. De même, aucune donnée n'a été publiée sur la productivité de tours verticales en intérieur.

Une production en intérieur de laitue requiert une température de 18 à 20 degrés, une humidité de 60 à 75 % et un pH de 5,5 à 6,0. La conductivité se situe entre 1,2 et 2,0 mS/cm. Pendant la production de la laitue, l'éclairage doit maintenir une photopériode de 16-18 heures. L'intensité lumineuse devrait se

situer entre 50 - 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$  pour un total de 12 à 13  $\text{mol}/\text{m}^2.\text{jr}$ . Pour une croissance et un développement optimaux, la concentration du  $\text{CO}_2$  devrait être maintenue autour de 1 000 ppm.<sup>17</sup>

D'après les sources consultées, le rendement annuel se situe autour de 300 têtes par an pour une ferme en intérieur de première génération (*Spread Co., Ltd. Kameoka Plant* construite en 2007) pour atteindre jusqu'à 800 têtes par  $\text{m}^2$  (Tableau 7). Toutefois il est important de noter que les entreprises récoltent leurs laitues et légumes feuilles à différents stades de maturité (Tableau 8). Obtenir les rendements annuels en kg (ou par paquet de 100g) permettrait de mieux comparer les rendements des entreprises, notamment parce que le format de vente (par tête ou par mélange de feuilles) peut varier d'une entreprise à l'autre.

Tableau 7. Rendement annuel de la production en intérieur par  $\text{m}^2$  de production pour plusieurs types de légumes feuilles.

Source	Entreprise	Espèce cultivée	Superficie de production ( $\text{m}^2$ )	Rendement annuel par $\text{m}^2$ de production
Kozai et al. (2020)	PFAL, Université Chiba	Laitue frisée et romaine	3 380	296 têtes/ $\text{m}^2$
Kozai et al. (2020)	Jones Food Company	Légume feuilles	5 120	78 kg/ $\text{m}^2$
Spread Co.,Ltd. (fév 2021)	Kameoka Plant	Laitue frisée	25 200	300 têtes/ $\text{m}^2$ *
Shimamura (sans date)	Mirai, Kashiwanoha	Laitue	4 536	811 têtes/ $\text{m}^2$ *
Peterson et al (2019)	Greensense Farms	Laitue boston	n.c	828 têtes/ $\text{m}^2$
Stein (2020)	Cas fictif	Laitue	465	242 têtes/ $\text{m}^2$
Zeidler (2017)	Cas fictif	Laitue	6 250	585 têtes/ $\text{m}^2$
Eaves (2018)	Cas fictif	Laitue	937	470 têtes/ $\text{m}^2$

Note : \* Ces exploitations indiquent un poids par tête de 100g

<sup>17</sup> AAC (2011). Profil de la culture de la laitue de serre au Canada.

Tableau 8. Durée et nombre de cycles de production pour les fermes en intérieur, pour plusieurs types de légumes feuilles.

<b>Source</b>	<b>Entreprise</b>	<b>Espèce cultivée</b>	<b>Nombre de cycles par an</b>	<b>Durée du cycle de production</b>
Stein (2020)	Cas fictif	Laitue	9 cycles/an	40 jours*
Zeidler (2018)	Cas fictif	Laitue (Rijk Zwaan)	13 cycles/an	48 jours
Peterson et al (2019)	Greensense Farms	Laitue boston	20-26 cycles/an	14-18 jours
Kozai et al. (2020)	PFAL, Université Chiba	Laitue frisée et romaine	9-11 cycles/an	32-37 jours

Note : \* Valeur approximative, calculée à partir du nombre de cycles par an.

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

**CRETAU**

---