



FICHE ÉCONOMIQUE

**Production maraîchère urbaine
en intérieur dans 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

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

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

Pour citer de texte

Cohen, A., et E. Duchemin. (2021). Fiche économique : production maraîchage urbaine en intérieur dans une structure bâtie. Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine/ Laboratoire sur l'agriculture urbaine. 26 p

Crédits page de couverture : Spread Co., Ltd., Techno Farm Keihanna, Japon

AVANT-PROPOS

Cette fiche a été réalisée dans l'intention d'orienter toute personne qui voudrait démarrer un projet de ferme maraîchère en intérieur ainsi que les promoteurs immobiliers et les gestionnaires de biens immobiliers désirant accueillir des projets de fermes dans leurs immeubles.

Elle se base sur des données disponibles dans la littérature (publications scientifiques, études sectorielles et cas d'entreprises ayant publié des données économiques). Cette fiche donne des informations de base sur les coûts potentiels d'installation et d'opération d'une ferme en intérieur, opérant dans une structure bâtie. Il est important de retenir que ce sont des indications et que de multiples facteurs difficiles à prévoir peuvent influencer le coût final d'un projet et/ou les coûts d'exploitation. Cette fiche a été réalisée à partir des données publiées entre 2017 et 2020.

Ce document s'intègre dans une série de fiches économiques visant à développer un référentiel économique pour le développement et l'opérationnalisation de fermes urbaines. Cette série s'ajoute à d'autres travaux du Carrefour de recherche, d'expertise et de transfert en agriculture urbaine qui portent plus spécifiquement sur le démarrage d'entreprises agricoles urbaines, sur leurs services environnementaux rendus (valeur économique pour la ville) ainsi que sur l'apport économique de l'agriculture urbaine commerciale.

TABLE DES MATIÈRES

FERMES MARAÎCHÈRES EN INTÉRIEUR	6
TYPES DE FERMES EN INTÉRIEUR	7
Fermes en location d'une structure bâtie existante	
Fermes sur mesure en bâtiment construit	
PARAMÈTRES CLEFS POUR DÉMARRER UNE FERME URBAINE EN INTÉRIEUR	8
Financement	
Choix du site	
Choix des équipements de production	
Mise en marché des produits	
ANALYSE ÉCONOMIQUE	11
CAS DE L'ÉTUDE	11
Cas fictifs	
Cas réels	
COÛT D'INSTALLATION	14
COÛTS D'EXPLOITATION	16
VIABILITÉ ÉCONOMIQUE	20
CONCLUSION	25

FERMES MARAÎCHÈRES EN INTÉRIEUR

La production maraîchère urbaine en structures bâties est une pratique agricole émergente qui a surtout commencé à se développer à travers le monde autour des années 2010. Avant, cette pratique se concentrait presque exclusivement au Japon. Le secteur, dont les entreprises commercialisent aujourd’hui principalement des légumes feuilles, des fines herbes et des fraises, a pris son essor en Asie et en Amérique du Nord, avant de se développer en Europe et plus récemment au Moyen-Orient.

Les entreprises agricoles de culture intérieure seraient près de 500 dans le monde, dont la grande majorité sont dédiés à la recherche, avec pour certains pays moins de 10% qui serait des exploitations agricoles à vocation commerciale.¹ Au Canada, il y avait, à notre connaissance, 16 entreprises produisant en intérieur dans des structures bâties et implantées en zone urbaine en 2020. La pratique est émergente également au Québec qui compte 7 entreprises en activité, et en 2 en développement.

Les entreprises mettent en valeur des avantages comme l’installation des fermes proches leurs consommateurs, une pratique de culture sans pesticides, la fraîcheur des produits, une consommation moindre d’eau et l’économie d’espace en superposant la production agricole sur plusieurs niveaux, s’affranchissant ainsi de terres agricoles. Évoluant dans un secteur peu connu des consommateurs, les entreprises doivent composer avec une technologie émergente à évolution rapide, une main-d’œuvre en apprentissage, des performances en continuelle amélioration et des coûts de démarrage importants. Malgré ces défis, ce secteur fait l’objet d’investissements importants dans le monde et de soutiens gouvernementaux dans plusieurs pays.

¹ Cohen, A. et E. Duchemin. (2021). Portrait filière : états des lieux de la production maraîchage urbaine en intérieur au Québec, Canada et dans le monde. Carrefour de recherche, d’expertise et de transfert en agriculture urbaine/ Laboratoire sur l’agriculture urbaine. 31 p.

TYPES DE FERMES EN INTÉRIEUR

Une exploitation agricole maraîchère en intérieur installée dans une structure bâtie utilise un éclairage artificiel pour la photosynthèse. Elle dispose d'un environnement clos entièrement contrôlé afin d'obtenir des conditions environnementales optimales pour la culture du point de vue des paramètres climatiques, de l'éclairage ou l'apport de nutriments. La production peut se faire en hydroponie, en aéroponie ou en terreau, superposée la plupart du temps sur plusieurs niveaux.²

Fermes en location d'une structure bâtie existante

Pour s'installer dans une structure bâtie existante, une entreprise doit entreprendre des aménagements locatifs pour le contrôle de l'environnement de culture, la plomberie et l'installation des équipements pour la production, la récolte et la distribution. La culture peut se faire soit à l'horizontale sur plusieurs niveaux, soit à l'aide de tours verticales.



Production en mode vertical.
Crédits : La butineuse de Vanier.



Production hydroponique en eau profonde
Crédit : Aquaverti.

² En outre, la production agricole urbaine en intérieur concerne aussi les entreprises de production aquaponique, de micropousses, les serres, les champignonnières, et les élevages d'insectes. Ces productions font l'objet de fiches séparées.

Fermes sur mesure en bâtiment construit

Un certain nombre d'entreprises préfèrent construire des bâtiments sur-mesure et ainsi profiter d'équipement de climatisation, ventilation et chauffage optimaux, et une hauteur sous plafond adaptée aux équipements choisis. Construire un bâtiment de toute pièce s'accompagne de coûts d'installation élevés.



Production hydroponique en eau profonde. Crédits : Spread Co., Ltd., Kameoka Plant, Japon



Production hydroponique en eau profonde. Crédits : Bowery, Kerney Farm, États-Unis

PARAMÈTRES CLEFS POUR DÉMARRER UNE FERME URBAINE EN INTÉRIEUR

Financement

Les fonds actuellement investis dans les fermes en intérieur proviennent principalement d'investisseurs privés ou de sociétés de capital de risque. Entre 2015 et 2020, 1,5 milliard de \$ ont été investis auprès de producteurs maraîchers en intérieur dans le monde.³ L'accès au financement est l'un des principaux défis des entreprises,⁴ qu'il s'agisse du financement des opérations (flux de trésorerie) ou celui des capitaux nécessaires à l'implantation ou l'agrandissement de l'entreprise.⁵ Au Québec, certains projets ont été financés par la Financière agricole, et les achats d'équipements fixes de production sont éligibles aux financements proposés dans le cadre de la stratégie de 5 ans pour la croissance des serres lancée en automne 2020.

Choix du site

Une ferme urbaine en intérieur se trouve de manière générale proche des consommateurs pour la mise en marché de la production, toutefois, la distance au consommateur est généralement un indicateur insuffisant pour évaluer la qualité de la localisation d'une exploitation. Il est important d'identifier les marchés clefs et 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.

Lors du choix du site, il faut s'assurer que le zonage municipal permette 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.

Enfin, comme n'importe quelle industrie, l'exploitation agricole nécessite un accès à l'eau et une source d'énergie stable (électrique et gaz). La gestion des déchets et de l'évacuation de l'eau sont

³ D'après les données publiées par *Crunchbase* et les rapports d'investissements *AgFund*, consultés le 2 janvier 2021. Voir le portrait de filière sur l'agriculture en intérieur.

⁴ Autogrow & Agritecture consulting. (2019). 2019 global CEA census. p9.

⁵ Agrylist. (2017). State of indoor farming. p20.

également cruciales. L'exploitation peut être tenue d'obtenir des permis, entre autres en ce qui concerne les rejets.⁶

Choix des équipements de production

La production maraîchère en intérieur se fait majoritairement en hydroponie, une technique de production qui permet de contourner certains risques phytosanitaires associés aux sols urbains, tels que la présence de contaminants. Il existe plusieurs techniques en hydroponie, et le choix dépend avant tout de la production visée. Les techniques largement utilisées par les fermes maraîchères en intérieur sont l'aéroponie, la culture en eau profonde et sur film nutritif.

En plus du choix des équipements de culture, les entreprises devront choisir des équipements de climatisation, ventilation et chauffage (CVC) adaptés, des lampes horticoles, un système de gestion de l'eau, un injecteur de gaz carbonique, des outils de mesure et l'automatisation de certaines opérations. Ces choix sont complexes, notamment parce que la technologie évolue rapidement, et ont des implications financières importantes. Il existe encore peu de systèmes de ferme en intérieur clef en main, notamment parce que les entreprises sont toujours en phase de développer des systèmes de production efficaces.⁶

Mise en marché des produits

Pour les cas étudiés dans cette fiche économique, la mise en marché se fait principalement en gros ou semi-gros, toutefois, des exemples de mises en marché plus directes envers les consommateurs existent également. En outre, plusieurs modèles économiques fictifs développés par les auteurs mentionnés dans cette fiche ne tiennent pas compte de la phase de mise en marché.

Les fermes en intérieur ont l'avantage d'apporter une production en continu sur toute l'année, ce qui est une caractéristique souhaitée par les distributeurs bioalimentaires. Pour les entreprises, les choix de mise en marché incluent la planification de la production, le conditionnement et l'approche marketing.

⁶ Plus d'information sur le choix du site et des équipements sont disponibles dans la fiche technique sur le maraîchage en intérieur.

ANALYSE ÉCONOMIQUE

La littérature scientifique analysant la dimension économique des fermes en intérieur est encore peu développée et il y a peu d'analyses financières détaillées du fait de la complexité de cette production maraîchère d'un point de vue agronomique et architectural.⁷ Le calcul des coûts d'installation et d'exploitation se fait au cas par cas et est encore difficile à généraliser.⁸ L'analyse économique présentée ici n'a pas pour but d'offrir de moyenne probable de coûts, mais plutôt de rendre compte de la diversité de la littérature économique sur les fermes en intérieur.

Les premières analyses économiques ont été publiées à partir de 2016, notamment à travers le développement de cas fictifs permettant de comprendre les coûts d'installation et les coûts d'exploitation associés au développement d'exploitations maraîchères en intérieur dans un environnement urbain donné. Tous ces cas fictifs et réels sont documentés dans notre analyse économique en plus de données statistiques recueillies par les études *Agrylist* de 2016 et 2017, et *Autogrow & Agritecture* de 2019 et 2020. Lorsque possible, les données spécifiques à la production maraîchère en intérieur viennent compléter les données des études de cas.

CAS DE L'ÉTUDE

Cas fictifs 1

En 2017, une étude du centre aérospatial allemand DLR, en collaboration avec *Association for Vertical Farming*, a élaboré un modèle de ferme fictive en collaboration avec 21 experts. Le cas étudié est une ferme modulaire d'une surface au sol de 2 625 m² comprenant 5 modules superposés dans un bâtiment de 5 étages, construit de toutes pièces. Le modèle comprend 2 modules de production de légumes feuilles, 2 modules de production de tomates et un rez-de-chaussée composé d'espaces de transformation, de stockage, de préparation à la livraison, et de bureaux. Chaque module productif est équipé pour la germination et la production afin de fonctionner de manière indépendante des autres étages.

Zeidler, C. et al. (2017) Vertical farm 2.0: Designing an Economically Feasible Vertical Farm - A combined European Endeavor for Sustainable Urban Agriculture.

⁷ Eaves, J. & Eaves, S. (2018). Comparing the profitability of a greenhouse to vertical farm in Quebec. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 66; 43–54

⁸ Baumont De Oliveira, F.J., Ferson, S. & Dyer, R. (2021). A collaborative decision support system framework for vertical farming business developments. *International Journal of Decision Support System Technology*, 13(1), 34-66.

Cas fictifs 2

En 2018, une étude québécoise de chercheurs de l'Université Laval a comparé la rentabilité d'une exploitation produisant des laitues en serre semi-fermée supplémentée par un éclairage artificiel avec une exploitation en intérieur dans un système semi-fermé dans lequel les laitues sont produites horizontalement sur 6 niveaux. Les 2 cas utilisent un support de production hydroponique et ont été modélisés avec un rendement égal de 5,34 kg par m² et une surface de production égale de 1 171 m². Les coûts d'installation modélisés tiennent uniquement compte du coût des équipements dans une structure bâtie louée.

Eaves, J. & Eaves, S. (2018). Comparing the profitability of a greenhouse to vertical farm in Quebec. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 66; 43–54

Cas fictifs 3

En 2020, une étude de *Cornell University* a effectué une analyse économique comparant les coûts et l'impact environnemental de 2 serres et 2 fermes d'intérieur installées soit dans la ville de New York, soit dans la périphérie de Chicago. Les fermes en intérieur produisent des laitues sur une surface équivalente de production de 4 013 m² et une surface au sol total de 803 m². Dans le cadre de l'analyse économique, les données modélisées considèrent l'achat du terrain, les coûts de construction, et l'installation des équipements. Les coûts d'opération sont également modélisés. Une analyse du cycle de vie complète cette étude.⁹

Nicholson, C.F., Harbick, K., Gomez, M.I., Mattson, N.S. (2020). An economic and environmental comparison of conventional and controlled environment agriculture (CEA) supply chains for leaf lettuce to US cities. *Food Supply Chains in Cities*, 33-68

Cas fictifs 4

Enfin, la même année, un rapport du *Center of Excellence for Indoor Agriculture* a documenté un modèle fictif d'exploitation en intérieur à partir de données de la littérature, d'informations fournies par des fournisseurs d'équipements et de données partagées par des entreprises existantes. Le modèle décrit considère une production horizontale de laitue et de basilic sur 5 niveaux, représentant une

⁹ Voir le portrait de filière sur le maraîchage en intérieur.

surface de production totale de 465 m². Ici encore les coûts d'installation ne considèrent que les équipements nécessaires à la production dans une structure bâtie existante.

Stein, E.W. (2020). The definite 2020 indoor farming industry analysis. *Center of Excellence for Indoor Agriculture*.

Cas réels 1 à 3

Il existe peu de données économiques documentant des cas réels. Deux entreprises japonaises ont partagé les données de leurs exploitations agricoles. Il s'agit de l'entreprise *Spread Co., Ltd.* ayant partagé des informations sur 2 exploitations – *Kameoka Plant* et *Techno Farm Keihanna*, à Kyoto - ainsi que l'entreprise *Mirai* ayant partagé des données de leur exploitation à Chiba. La ferme *Kameoka Plant* a une surface au sol de 2 868 m² et dispose de 2 tours de 12 et 16 étages, pour une surface totale de production de 25 200 m². La ferme *Techno Farm Keihanna* a une surface au sol de 4 800 m².¹⁰ La ferme *Mirai* possède une surface au sol de 1 300 m², et une surface totale de production de 4 536 m².¹¹

Cas réel 4

Finalement, en 2018, une publication dans la revue *Smart Plant Factory* partageait les données économiques détaillées d'une ferme en intérieur située au Japon. La ferme de 1 000 m² est installée dans une structure bâtie louée avec une hauteur sous plafond de 3,5 m. Des laitues sont produites sur une surface équivalente de production de 2 186 m². Le support de production hydroponique est disposé horizontalement sur 6 niveaux. Les coûts d'installation partagés tiennent compte de l'aménagement locatif et des équipements de la ferme. Les coûts d'opération et revenus sont développés, ainsi qu'un budget sur 5 ans.

Uraisami, K. (2018). Business Planning on Efficiency, Productivity, and Profitability. In T. Kozai (Ed.) *Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms* (1st ed., pp. 83-118). Springer.

¹⁰ Kozai, T., Niu, G., Takagaki, M. (2016). Selected commercial PFALs in Japan and Taiwan. In T. Kozai et al. (Ed.). *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. (1st ed., pp 351-386). Elsevier.

et sites internet de *Spread Co., Ltd.* - <https://spread.co.jp/en/technology/> et *Techno farm* - <https://technofarm.com/en/innovation/>

¹¹ *Mirai*, Indoor cultivation for the future, Shigeharu Shimamura, presentation by Chieri Kubota, The university of Arizona. <https://docplayer.net/15068852-Indoor-cultivation-for-the-future.html>

COÛT D'INSTALLATION

Selon les cas étudiés, les coûts d'installations sont disponibles pour l'installation d'une exploitation dans une structure bâtie existante en location ou dans une nouvelle structure construite spécialement pour l'exploitation. Le Tableau 1 décrit les coûts d'installation liés aux équipements internes de 6 exploitations. Lorsque disponibles, les coûts liés au terrain, à la construction et aux matériaux de la structure du bâtiment sont indiqués dans le Tableau 2.

Les coûts d'installation des fermes étudiées sont extrêmement variables et un nombre considérable de facteurs entrent en jeu dans la composition de ces coûts. Le coût des équipements se situe entre 0,6 M\$ et 11,5 M\$¹² selon les cas, pour des surfaces au sol allant de 280 m² à 2 870 m². Ramenés au m² de production, les cas incluant tous les équipements ont un coût d'installation variant entre 455 et 1 215 \$/m². Toutes les exploitations produisent des légumes feuilles à l'aide de la technique de culture hydroponique disposée horizontalement, toutefois la configuration de chaque exploitation varie considérablement en fonction de l'utilisation de l'espace et des équipements choisis. Aucun des calculs ne prend en compte une automatisation de la production, à l'exception de la ferme japonaise documentée par Uraisami, qui inclut une automatisation de la tâche d'emballage.

Les systèmes d'éclairage ont un coût au mètre carré variant de 350 \$ à 465 \$, alors que le coût de l'équipement horticole va de 105 \$ à 450 \$ selon les choix opérés. Ces choix dépendent de la taille des espaces de production (influençant le choix des équipements CVC), de la densité de production, de l'éclairage désiré, de l'ergonomie des équipements et du choix des automatisations. Le coût total au mètre carré des équipements varie entre 150 \$ et 1 200 \$. Étant donné la variabilité des résultats, il est difficile de conclure quant au coût moyen d'installation de fermes en intérieur d'après la littérature existante.

¹² Toutes les devises ont été converties en dollars canadiens en utilisant la moyenne du taux de change entre 2017 et 2020.

Tableau 1. Coûts d'installation d'une exploitation en intérieur.

	Cas fictifs			Littérature	Cas réels		
Source	Zeidler, 2017	Eaves, 2018	Nicholson, 2020	Hugues, 2018	Kameoka Plant	Mirai	Uraisami, 2018
Caractéristiques							
Surface au sol	2 625 m ²	279 m ²	803 m ²	n.a	2 868 m ²	1 300 m ²	1 000 m ²
Surface de production	6 250 m ²	937 m ²	4 013 m ²	n.a	25 200 m ²	4 536 m ²	2 186 m ²
Étages de production	1 module, 5 étages	6 étages	10 étages	n.a	12-16 étages	n.c	6 étages
Type d'installation	Construit	Location	Construit	n.a	Construit	Construit	Location
Coûts des équipements par surface équivalente de production (CA\$/m²)							
Éclairage	465	354	Excl. ^a	451			411
Équipements horticoles				451			
Support de culture	247	138	105				422
Équipements de fertigation	72	120	1				105
Contrôle de l'environnement							
Équipements CVC & CO ₂ ^b	79	102	9				189
Équipements de contrôle	5		2				27
Autres		111	36				60
TOTAL (CA\$/m²)	868	825	153	902	455 ^c	795	1 214
Coûts totaux des équipements (CA\$)							
Coût des équipements	5 428 000 \$	773 000\$	614,157 \$	n.a	11 468 000 \$ ^c	3 605 000 \$	2 653 333 \$

Notes : n.c : non communiqué, n.a : non applicable. a) Coût inclus dans la structure et non dans les équipements. b) Dans les cas de fermes construites de toutes pièces, certains équipements de CVC peuvent être comptabilisés dans les équipements ou dans les coûts de construction du bâtiment. Ainsi les valeurs fournies ne sont pas directement comparables. c) Ces données sont fournies à titre indicatif, toutefois elles sont considérées obsolète par l'entreprise.

Aux coûts de ces équipements internes vient s'ajouter l'investissement pour la construction du bâtiment. Les coûts d'installation des cas répertoriés sont difficilement comparables, car ces derniers représentent des achats ou des estimations effectuées dans des marchés très différents, sur une période de près de 10 ans, durant laquelle les avancées technologiques ont été considérables. Parmi les cas discutés, le modèle fictif développé dans l'étude allemande a un coût total de 6,2 M\$ par module. Toutefois, si l'on considère le projet dans son ensemble, soit avec 5 modules superposés, l'achat du terrain et la construction du bâtiment, le coût d'investissement s'élève à 35,1 M\$. Les deux cas japonais montrent des projets avec un investissement moindre. Les données disponibles indiquent un coût total d'investissement pour l'achat du terrain, la construction du bâtiment de la ferme *Kameoka* s'élevant à 6,7 M\$, alors que le coût total pour la construction du bâtiment (sans le terrain) de la ferme *Mirai* représente 3,5 M\$. Les fermes modélisées pour les villes états-uniennes ont un coût d'installation pour la structure et le terrain de 4,2 M\$ dans le cas de New York et 2,3 M\$ dans le cas de Chicago.

Tableau 2. Coûts des investissements pour la construction du bâtiment pour 4 cas étudiés.

Études	Coûts d'investissement (CA\$)	
Zeidler, 2017		
Terrain	1 797 169 \$	
Squelette sur 5 étages	2 410 251 \$	
Module (1 de 5)	6 187 913 \$	
Total pour 5 modules	35 149 989 \$	
Nicholson, 2020		
	New York	Chicago
Terrain	3 372 818 \$	1 322 430 \$
Structure	831 717 \$	949 915 \$
Total	4 204 535 \$	2 272 345 \$
Kameoka Plant		
Construction et matériaux du bâtiment	6 710 000 \$ ^a	
Mirai		
Nouveau bâtiment	2 162 700 \$	
Construction (raccord aux réseaux d'énergie et d'eau)	1 321 650 \$	
Total	3 484 350 \$	

a) Ce coût d'investissement est considéré obsolète par l'entreprise.

COÛTS D'EXPLOITATION

Le maraîchage en intérieur permet une production régulière à l'année avec une densité de production au mètre carré élevée. Toutefois, la production en environnement contrôlé s'accompagne d'un investissement de départ qui doit être amorti et de coûts énergétiques élevés. Selon les cas étudiés, les coûts d'exploitation sont modélisés ou partagés de manière partielle ou complète. Les coûts variables sont disponibles pour 7 cas, alors qu'une part des coûts fixes sont disponibles pour 3 cas, et la totalité des coûts fixes est disponible pour 2 cas. (Tableau 3).

Tableau 3. Coûts d'exploitation au mètre carré d'une exploitation en intérieur.

Source	Cas fictifs				Cas réels			
	Zeidler, 2017	Eaves, 2018	Nicholson, 2018	Stein, 2020	Agrylist, 2017	Mirai	Uraisami, 2018	
Pays	Allemagne	Québec	États-Unis ^a	États-Unis		Japon	Japon	
Caractéristiques								
Surface au sol	2 625 m ²	279 m ²	803 m ²	93 m ²	Échantillon de 45 fermes	1 300 m ²	1 000 m ²	
Surface de production	6 250 m ²	937 m ²	4 013 m ²	465 m ²		4 536 m ²	2 186 m ²	
Étages de production	5 étages	6 étages	10 étages	5 étages		n.c	6 étages	
Coûts variables (CA\$/m²)								
Énergie	369	51	181	116	Incl.	192	122	
Éclairage		49	127	58				
Contrôle climatique		1	54	56				
Système de production				2				
Eau		1	11	n.c	Incl.	n.c	Incl. ^b	
Matériel		79	154	53	58	41	85	
Substrat de croissance				12	17	31		
Semences			15	23	2	15		
Fertilisants			24	4	17	12		
Régulateurs de pH					2			
Lutte contrôlée				2				
Emballage			39	113	15	Incl.		
Main-d'œuvre		146	126	470	140	297	189	109
Transport		n.c.	47	12	32	16	Incl. ^c	
Autres (loyer, énergie, emballage, etc.)					143			
Total des coûts variables par m ² de production	515	257	863	322	530	438	317	
Coûts fixes (CA\$/m²)								
Frais fixes d'électricité	Incl.	25	Incl.	n.m	n.m	Incl.	19	
Réparation, service-conseil	n.m	n.m	39	n.m	n.m	130	36	
Loyer	n.a	11	n.a	n.m	n.m	n.a	53	
Frais d'exploitation (VGA)	n.m	n.m	107	n.m	n.m	n.c	161	
Amortissement	98	104	59	n.m	n.m	157	162	
Total des coûts fixes par m ² de production	98	140	205	n.m	n.m	287	430	
Coûts totaux (CA\$/m²)								
Total des coûts d'opération par m ² de production	614	396	1 068	n.c	n.m	725	747	
Coûts totaux (CA\$)								
Total des coûts variables	3 221 863	240 440	3 462 713	149 625	n.a	1 986 080	691 892	
Total des coûts fixes	612 863	130 981	823 246	n.m	n.c	1 302 426	940 714	
Total des coûts d'opération	3 834 921	371 420	4 285 960	n.m	n.c	3 288 506	1 632 607	

Notes : Incl. : inclus sous une autre catégorie, n.m : non modélisé, n.c : non communiqué, n.a : non applicable. a) les coûts d'exploitation pour la ferme de New York et Chicago sont les mêmes, à l'exception du coût d'amortissement. Pour ce dernier coût, le montant représenté dans le tableau correspond au cas de Chicago, alors que le montant pour la ville de New York est de 134 \$/m². b) coût inclus dans les frais d'électricité c) coûts de livraison, hors essence, inclus dans les frais de main-d'œuvre.

Les coûts variables d'exploitation d'une production agricole en intérieur sont le résultat des coûts énergétiques, de la main-d'œuvre, du matériel horticole, de l'emballage et du transport. Selon les cas étudiés, ces coûts varient entre 260 \$ et 860 \$ par mètre carré de production. On constate une variabilité importante selon les cas qui s'explique en partie par la différence du prix de l'énergie selon les marchés et la rémunération du temps de travail en production. En incluant les charges sociales, la rémunération du personnel de production varie entre 12,3 \$/h dans un cas japonais, 20,5-22,2 \$/h dans le cas états-unien et 20,2-25,5 \$/h dans le cas européen. Comparées aux serres, les fermes en intérieur produisent dans des structures bâties ayant une meilleure isolation thermique. Ainsi, le climat extérieur influence peu la consommation d'énergie.¹³ En plus de ces facteurs, les coûts variables au m² de production dépendent de la densité de production, du choix des équipements, et, dans le cas des modélisations, des méthodes de calcul et des hypothèses choisies.

Parmi les coûts fixes, une ferme en intérieur doit tenir compte de différents frais d'exploitation pour l'administration, les frais généraux et la vente de la production, et s'il y a lieu, des frais fixes d'électricité et de coûts de location. L'amortissement des coûts d'investissements est aussi à prendre en compte.

Selon les exploitations, les coûts totaux d'exploitation vont de 370 000 \$ pour une ferme produisant sur une surface de 937 m², à 4,3 M\$ pour une ferme produisant sur 4 013 m².

Si l'on compare les postes de dépense en termes de proportion des coûts variables, on constate que selon les cas, la main-d'œuvre varie entre 28% et 56% des coûts d'exploitation, alors que le coût de l'énergie varie entre 20% et 44%. Ces deux postes principaux de coûts variables font partie des plus grands enjeux pour les fermes en intérieur si l'on considère qu'ils représentent à eux deux entre 69% et 87% des coûts variables. Ce sont également les 2 postes qui présentent le plus de potentiel d'optimisation, en outre par le choix d'équipements ergonomiques, l'automatisation ou les avancées technologiques, notamment en ce qui concerne l'éclairage horticole (Figure 1).

Alors qu'en 2015, l'efficacité des lampes DEL était de 90 lumens par watt, une étude projette que cette efficacité augmenterait de 66% en 2020 et de 106% en 2025 par rapport à 2015.¹⁴ En guise d'exemple, l'entreprise *Spread Co., Ltd.* rapporte avoir augmenté l'efficacité de son éclairage entre la génération de sa ferme *Kameoka Plant* installée en 2007, et sa ferme *Techno Farm Keihanna* installée en 2018. En

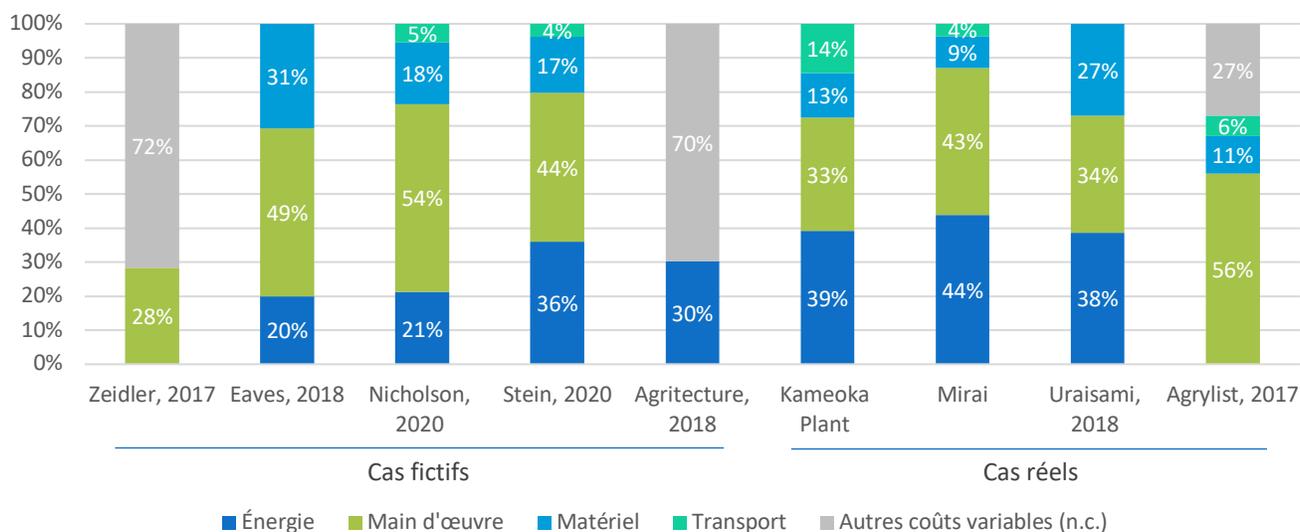
¹³ Graamans, L., Baezab, E., van den Dobbelsteena, A., Tsafarasb, I., Stanghellinib, C. (2018). Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agriculture Systems* 160, 31-43.

¹⁴ Données estimées par U.S Energy Information Administration en 2014.
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=15471>

effet, dans la première génération une tête de laitue consommait 1,2 kWh pour sa production alors que dans la seconde génération elle consommait 0,57 kWh, soit une amélioration de 110%.¹⁵

En ce qui concerne les coûts de main-d'œuvre, il est important de noter que d'après la Figure 1, la proportion du coût de la main-d'œuvre sur un échantillon de 45 fermes en intérieur en exploitation est plus élevée que dans tous les cas individuels représentés. Il sera donc important de mieux comprendre à l'avenir les facteurs influençant ce poste de dépense sur d'autres cas réels. En outre, la sous-estimation du coût de la main-d'œuvre est un des facteurs d'échec des entreprises en démarrage.⁸

Figure 1. Proportion des coûts variables d'opération par poste de dépenses.



*Note La catégorie « autres coûts variables » combinent des coûts qui n'ont pu être attribués aux catégories utilisées pour l'analyse.

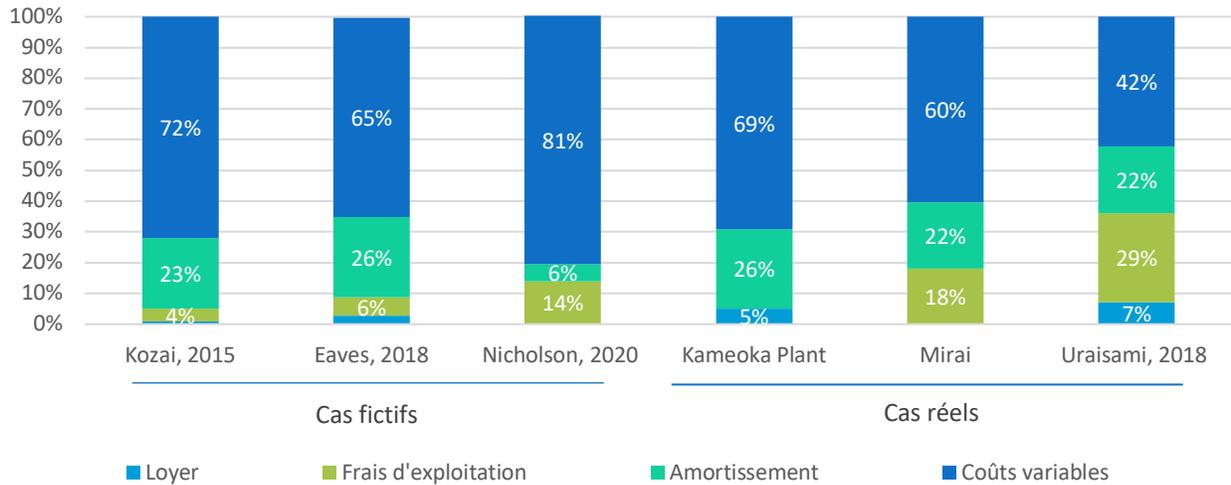
Les données de la ferme Kameoka Plant sont considérées obsolètes par l'entreprise.

Les coûts fixes varient entre les cas étudiés, notamment parce que certains cas n'ont pas partagé les frais d'exploitation au complet (voir Tableau 3). Pour la plupart des cas, l'amortissement des investissements représente entre 22 et 25% des coûts totaux d'exploitation. Lorsque détaillés, les frais d'exploitation, qui regroupent les activités de mise en marché, d'administration et les coûts de réparation et service-conseil de l'entreprise représentent entre 14 et 29 % des coûts totaux (Figure 2). Étant donné l'émergence de la filière, il est prudent de ne pas négliger ce dernier poste de dépenses.

¹⁵ <http://technofarm.com/en/innovation/>

Pour la ferme Mirai par exemple, les coûts de réparation et de service-conseil représentent 18% des coûts totaux.

Figure 2. Proportion des coûts d'exploitation fixes et variables par poste de dépenses.



Note : les données de la ferme Kameoka Plant sont considérées obsolètes par l'entreprise.

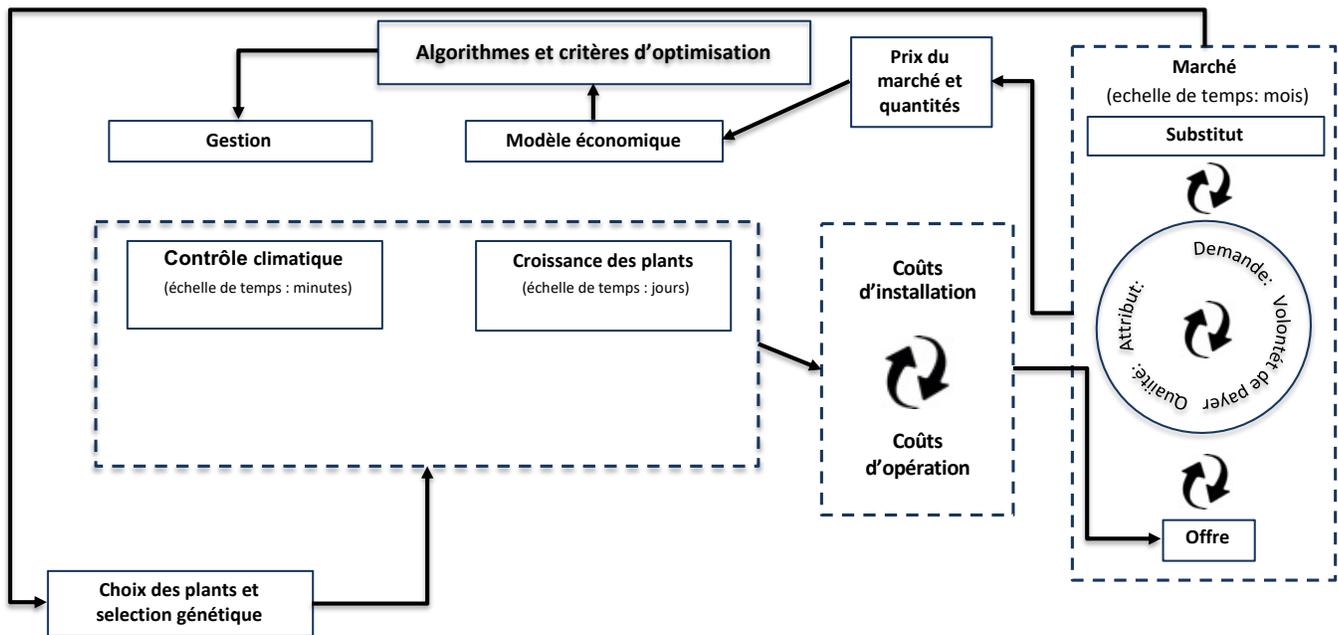
VIABILITÉ ÉCONOMIQUE

Comme la plupart des industries émergentes, beaucoup de questions se posent sur la viabilité des modèles économiques de l'agriculture en intérieur. On observe de nombreux modèles d'affaires et une diversité de technologies utilisées par des pionniers qui partagent peu de données économiques. Il existe actuellement une course entre les producteurs pour être le premier à obtenir un modèle économique optimisé et répondant aux contraintes du marché. Toutefois, la collaboration entre les acteurs de l'industrie, la chaîne de valeur et la recherche est indispensable pour l'apprentissage et le développement du secteur.¹⁶

¹⁶ Cette observation est partagée par les chercheurs de *Cornell University* et *Michigan State University* avec lesquels nous avons échangé. Des collaborations s'observent au Japon grâce au *Japan Plant Factory Association*, ainsi que plus récemment aux États-Unis avec le projet *OptimIA* ayant débuté en 2020.

Avec leur développement, les entreprises cherchent à optimiser leur modèle de production, qui passe notamment par la recherche de compromis entre les coûts d'installation et les coûts d'exploitation. La complexité du modèle économique du maraîchage en intérieur est résumée dans un diagramme développé par deux auteurs de *Michigan State University* (Figure 3).

Figure 3. Modèle d'optimisation d'une exploitation en intérieur.



Source : Simone Valle de Souza et Chris Peterson (MSU Product Centre Food-Ag-Bio, Michigan State University), adapté de Rodriguez et al (2003) et Ramirez-Arias et al (2012).

D'après les auteurs, la conception optimale d'une ferme en intérieur doit pouvoir optimiser la combinaison entre les coûts d'installation (CAPEX) et les coûts d'exploitation (OPEX), pour obtenir une combinaison de caractéristiques du produit répondant à la demande du marché grâce au contrôle des paramètres environnementaux (ou recette climatique) du système de production.¹⁷

¹⁷ Peterson, C. & Valle de Souza, S. (March 2019). Perspectives on business strategy and economics of vertical agriculture. Webinaire Indoor Ag Science Café #8, <http://scri-optimia.org/showcafe.php?ID=8>

Figure 4. Distribution des revenus des entreprises maraîchères en intérieur

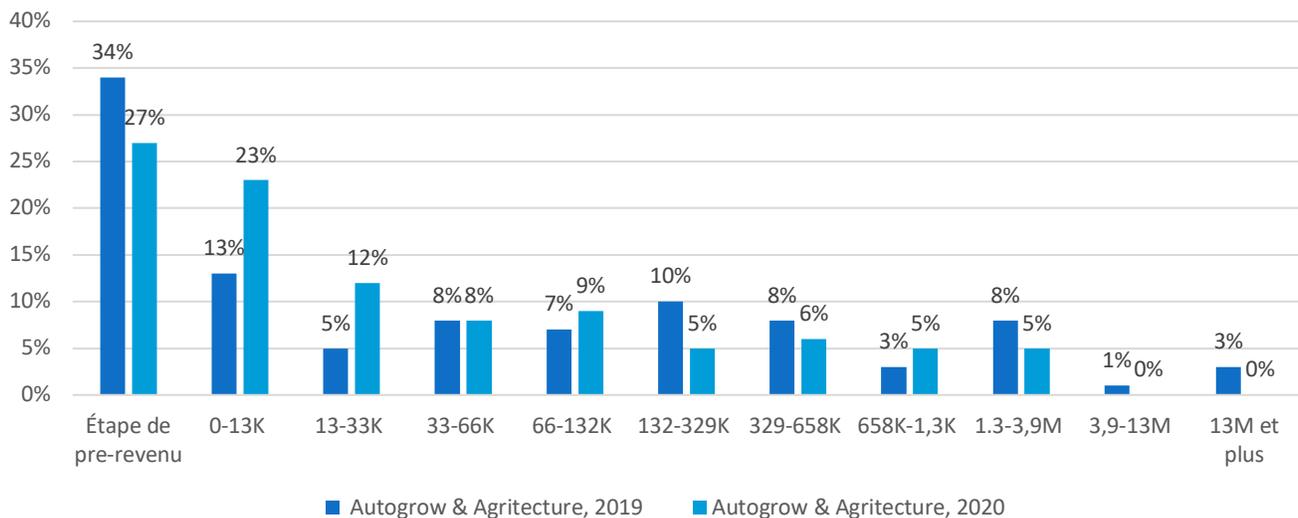
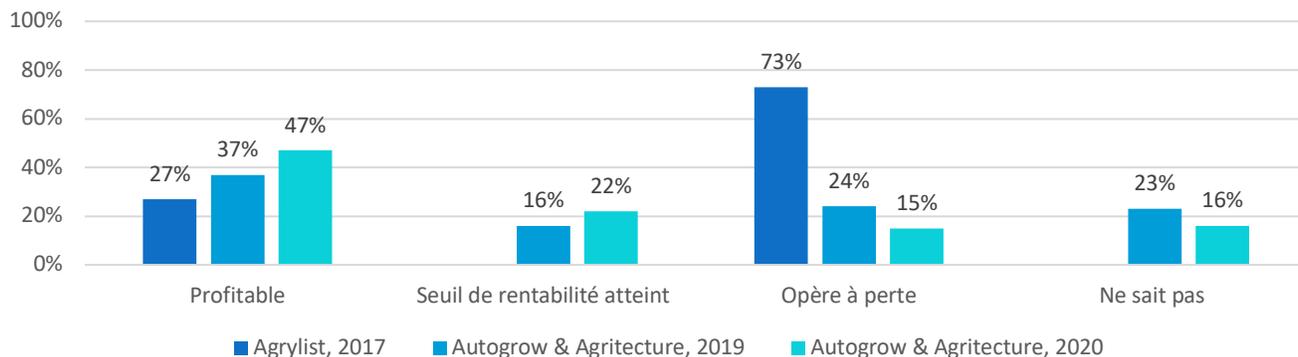


Figure 5. Rentabilité des entreprises maraîchères en intérieur entre 2017 et 2020.



Étant donnée la complexité du modèle économique, les quelques cas de la littérature offrent peu d'indications sur la viabilité de la filière prise dans son ensemble. La ferme Mirai produit 3,7 millions de têtes de laitues pour un revenu de 5.4 M\$ par an et un profit annuel de 2 M\$. Toutefois, l'étude *Autogrow & Agritecture* de 2020 montre que le revenu moyen d'une exploitation maraîchère intérieure se situe autour de 174 000 \$ par an. En 2019 et 2020, plus de la moitié des entreprises rapportaient un revenu annuel de moins de 33 000 \$ (Figure 4).

Entre 2017 et 2020, la rentabilité des producteurs maraîchers en intérieur s'est améliorée. Alors qu'en 2017, seuls 27% des participants déclarent avoir atteint le seuil de rentabilité, cette proportion est montée à 53% en 2019 et 69% en 2020 (Figure 5).

Considérant les importants investissements pour les installations et les coûts d'exploitation, les producteurs se concentrent actuellement sur des marchés de niche, sur lesquels il est possible d'obtenir un prix de vente élevé. En 2016, le prix des laitues produites en intérieur était de 17,27 \$ par kg.¹⁸ On observe même des prix allant jusqu'à 45,99\$ par kg pour des légumes feuilles et 40,86 \$ par kg pour du chou frisé.¹⁹ Les projets peinent à obtenir un retour sur investissement de plus de 10 %.⁸ Ainsi, la réduction des coûts d'exploitation est un enjeu majeur pour permettre aux entreprises d'offrir des produits financièrement plus accessibles.

Les chercheurs de l'Université du Michigan ont développé en 2020 différents scénarios pour rentabiliser la production de laitue en intérieur en se basant sur le modèle d'une exploitation japonaise dont les données sont disponibles dans la littérature scientifique.²⁰ La modélisation étudie un scénario de base, des scénarios dans lesquels la surface de production est diminuée de moitié (scénario 2) ou doublée (scénario 3), ainsi que des scénarios pour lesquels le cycle de production est réduit de 4 jours (scénario 3), ou les coûts des équipements sont réduits de 20% (scénario 4), ou la biomasse des laitues est augmentée de 20% (scénario 5), ou les besoins en énergie pour l'éclairage est réduit de 20% (scénario 6). Le scénario 7 combine les scénarios 3,4,5 et 6. Le scénario 8 envisage la production d'une variété alternative hypothétique ayant un cycle de 28 jours au lieu de 38 et ne nécessitant pas de transplant. Scénario 9 envisage une diminution du prix de vente de 34,58 \$ au kg à 27.66 \$ au kg (Tableau 4).

Les résultats de l'étude montrent que l'optimisation qui génère le meilleur retour sur investissement est la variété alternative (scénario 8), suivi du scénario 7, combinant 4 optimisations, et l'augmentation de la biomasse des laitues (scénario 5). Toutefois, seuls les scénarios 7 et 8 permettent d'obtenir le retour sur investissement désiré de plus de 20%. Il est à noter également qu'une diminution du prix de vente a un impact négatif sur la rentabilité de l'exploitation.

Les auteurs concluent que la rentabilité du maraîchage en intérieur nécessite des innovations conséquentes sur tous les aspects du système de production, ainsi que le maintien d'un prix de vente élevé. L'impact du prix de vente est tout autant crucial à la viabilité du secteur que la diminution des coûts d'exploitation. Le partage d'informations économiques par les entreprises est également vital pour affiner les modélisations.

¹⁸ Agrylist. (2016). The state of indoor farming.

¹⁹ Holt, S. (July 2018). Can vertical farms reap their harvest? It's anyone's bet. Civil Eats. <https://civileats.com/2018/07/02/can-vertical-farms-reap-their-harvest-its-anyones-bet/>

²⁰ Peterson, C., Valle de Souza, S., Seong, J. (July 2020). Critical elements of CEA economics. <http://scri-optimia.org/stakeholder-pdf/SVDS%20and%20CP%20Advisory%20Committee%20Meeting%20Handouts.pdf>

Tableau 4. Modélisation du bénéfice avant intérêt et impôts et du retour sur investissement pour 7 scénarios d'exploitation en intérieur.

	Description	Bénéfice avant intérêt et impôts (BAII) (CA \$)	Retour sur investissement (BAII/coût des équipements)
Scénario 0	Scénario de base	51 311	1.78%
Scénario 1	Surface de production divisée par 2	(92 097)	-6.31%
Scénario 2	Surface de production multipliée par 2	338 128	5.82%
Scénario 3	Cycle de production réduit de 4 jours	139 462	4.78%
Scénario 4	Coût des équipements réduit de 20%	128 936	5.55%
Scénario 5	Biomasse des laitues augmentée de 20%	419 700	14.45%
Scénario 6	Éclairage kWh diminué de 20%	89 466	3.06%
Scénario 7	Scénarios 3, 4, 5 et 6 combinés	672 310	28.71%
Scénario 8	Variété alternative (cycle de 28)	584 160	20.09%
Scénario 9	Diminution du prix de vente	(317 078)	-10.90%

CONCLUSION

Grâce aux entreprises ayant collaboré à ce travail, cette fiche permet de mieux comprendre l'état des connaissances économiques sur la production en intérieur. Cette première fiche démontre, dans le cas d'exploitations ayant pour principale activité la production et la vente en gros ou semi-gros de légumes feuilles, que le démarrage d'une exploitation à un besoin d'investissements très élevé et que les équipements choisis et leur niveau technologique, ainsi que le savoir-faire de la main-d'œuvre ont une influence directe sur la viabilité de l'exploitation. En effet, les principaux coûts de l'entreprise sont la main-d'œuvre, l'énergie et l'amortissement de l'investissement de départ.

Nous avons identifié qu'un plus grand nombre de données économiques seront à collecter sur des cas canadiens. En outre, il serait important de mieux comprendre les modèles d'affaires des exploitations de moins de 500 m², puisque ces fermes sont répandues au Canada. Une meilleure compréhension sera aussi nécessaire au sujet des systèmes de production de plus petites tailles tels que les conteneurs ou les modules de production installés dans des épiceries. Ces acteurs sont plus à même d'effectuer de la vente directe et sont plus proches de leurs consommateurs.

Un certain nombre de projets pourraient également aider les entreprises québécoises à se démarquer. Une analyse du cycle de vie de fermes en intérieur installées dans les marchés de Québec et Montréal permettrait de mieux comprendre la spécificité québécoise pour les fermes en intérieur en ce qui concerne le coût et l'impact environnemental des besoins énergétiques de ces exploitations agricoles. L'établissement d'indicateurs en ce qui concerne l'efficacité énergétique, la productivité de la main-d'œuvre, ou le rendement par surface de production permettrait aux entreprises de comparer leurs performances et de prendre des décisions basées sur les meilleures connaissances possibles.

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

CRETAU
