

Culture de climat frais sous abris

Type d'abris, gestion climatique et aspects économiques

Réalisation

Ferme Chapeau Melon
Ferme du Coq à l'Âne de Bury
Ferme la Coulée Douce
Jardins des Funambules
Ferme des Quatre-Temps
Claudia Thibodeau, technicienne, CETAB+
Jean-Baptiste Milesi, technicien, CETAB+
Mathieu Picard-Flibotte, technicien, CETAB+
Stéphanie Duranceau, agronome, M.Sc., CETAB+
Sylvain Drolet, stagiaire, CETAB+

Suivi en entreprise

Sophie Guimont, agronome, Club Bio-Action du Groupe Pleine Terre
Riva Khanna, agronome, MAPAQ, Montérégie
Jenny Leblanc, agronome, MAPAQ, Capitale-Nationale
Geneviève Legault, agronome, M.Sc. et Julie Marcoux, dta, MAPAQ, Estrie
Julien Venne agronome, M.Sc., MAPAQ, Outaouais

Rédaction

Charlotte Giard-Laliberté, agronome, M.Sc., chargée de projet, CETAB+
Anne Le Mat, agroéconomiste, CETAB+

Révision

Geneviève Legault, agronome, M.Sc., MAPAQ, Estrie
Jacques Thériault, agronome, M.Sc., Climax Conseil



CETAB+

Centre d'expertise et de transfert en
agriculture biologique et de proximité

 CÉGEP DE VICTORIAVILLE

Publié le :
15 janvier 2023

cetab.bio/publications

Personne-ressource pour information

Charlotte Giard-Laliberté, agr., M.Sc.
CETAB+
475, rue Notre-Dame Est
Victoriaville (Québec) G6P 4B3
Téléphone : 819 758-6401 poste 2783
Courriel : charlotte.giard-laliberte@cegepvicto.ca

Remerciement

Nous voulons remercier les personnes suivantes qui ont contribué à la réalisation de ce projet :

Jacques Thériault, agronome, M.Sc., Climax Conseil, pour le partage de son expertise concernant la gestion climatique des serres froides et minimalement chauffées.

Christine Villeneuve, agronome, MAPAQ Montérégie, pour l'idéation initiale du projet ainsi que le partage de son expertise.

Matthieu Brisset, ingénieur junior, pour la coordination du chantier de construction des serres du CETAB+.

François Gendreau-Martineau, agroéconomiste, pour sa participation au développement du projet.

Ce projet a été financé par le programme Innov'Action volet 3 du MAPAQ.

Citation suggérée :

Giard-Laliberté, Charlotte et Le Mat, Anne. 2022. Culture de climat frais sous abris : Type d'abris, gestion climatique et aspects économiques. CETAB+. 43 pages.

TABLE DES MATIÈRES

Mise en contexte	5
Définitions	6
Abris.....	6
Termes climatiques.....	6
Termes économiques.....	7
Synthèse	8
Type d’abris	9
Mini-tunnel	9
Serre individuelle.....	10
Gestion climatique	11
Serre froide.....	11
Serre 5°C : Gestion climatique.....	12
Données climatiques observées	13
Température de l’air	13
Température du sol	16
Humidité	16
Luminosité.....	20
Gestion et paramètres climatiques en entreprise	21
Ferme Chapeau Melon	21
Ferme du Coq à l’âne de Bury	22
Ferme La Coulée Douce	23
Ferme des Quatre-Temps.....	24
Aspects économiques	25
Coûts variables liés à la gestion climatique.....	25
Serre 5°C.....	25
Serre froide.....	25
Estimation des écarts marginaux.....	27
Analyse de sensibilité des résultats	29
Impact de la fluctuation du coût du propane.....	29

Impact de la fluctuation du coût du travail.....	31
Principaux constats – résultats des fermes partenaires	32
Prix de vente des légumes.....	32
Temps de travail	32
Coût du chauffage des serres.....	32
Conclusion.....	33
Références.....	34
ANNEXES.....	35
Annexe 1 . Aspects économiques – détails par culture.....	35
Serre 5°C.....	35
Serre froide.....	37
Annexe 2. Suite analyse des gains marginaux.....	39
Annexe 3. Informations économiques des fermes partenaires.....	40
Prix de vente	40
Temps de travail	40
Coût de chauffage	41

MISE EN CONTEXTE

La culture de climat frais sous abris est définie ici comme toute culture produite en serre, tunnel, mini-tunnel ou abri autre, sans chauffage ou avec chauffage minimal, et dont on vise la récolte à l'automne, à l'hiver ou au printemps. Un projet de vitrine technologique sur les cultures de climat frais a été réalisé de l'automne 2020 au printemps 2022 afin de documenter ce type de production qui gagne en popularité chez les producteurs maraîchers biologiques et diversifiés. À l'Institut national d'agriculture biologique (INAB), trois types d'abris ont été documentés soit une serre non-chauffée (ci-après appelée serre froide), une serre minimalement chauffée à 5°C (ci-après appelé serre 5°C) et des mini-tunnels en champ. Le type d'abri utilisé en entreprise pour la production de cultures de climat frais ainsi que les paramètres climatiques ont aussi été documentés sur cinq fermes. Cette fiche se veut un résumé des caractéristiques des infrastructures ainsi que des conditions climatiques observées dans ces abris. Une analyse technico-économique de la rentabilité du chauffage minimal est présentée dans la dernière section. Pour des informations en lien avec les quatre cultures documentées dans le cadre de la vitrine (bok choy, épinard, laitue multicroues et roquette), veuillez vous référer à la fiche technique associée et dont la référence est disponible en fin document.

DÉFINITIONS

Abris

L'utilisation des termes *serre* et *tunnel* peut porter à confusion, ceux-ci étant parfois utilisés pour décrire un même type de structure. Dans le cadre du présent document, la terminologie suivante est proposée :

Terme	Caractéristique	Exemple	Traduction anglaise
Tunnel	<ul style="list-style-type: none">• Structure avec ancrage temporaire• Une couche de plastique• Aucune gestion clim. automatisée	<ul style="list-style-type: none">• Tunnel chenille• Mini-tunnel	<ul style="list-style-type: none">• <i>Low tunnel</i>• <i>Hoophouse</i>
Serre	<ul style="list-style-type: none">• Structure avec ancrage permanent• 2 couches de plastique• Gestion clim. (minimale ou avancée)	<ul style="list-style-type: none">• Serre froide (sans chauff.)• Serre min. chauffée	<ul style="list-style-type: none">• <i>Greenhouse</i>• <i>High tunnel</i>• <i>Cold house</i>• <i>Cool house</i>

Ces caractéristiques tentent de brosser un portrait général, il existe des exceptions.

Termes climatiques

Voici quelques définitions de termes climatiques, utiles pour la lecture du document. Les définitions sont tirées de l'Office québécois de la langue française.

Terme	Abrév.	Définition
Humidité relative	HR	Rapport entre la quantité de vapeur d'eau contenu dans un volume d'air donné et la quantité de vapeur d'eau que ce volume d'air pourrait contenir (saturation) à la même température (%)
Humidité absolue	HA	Rapport entre la masse de vapeur d'eau et le volume occupé par un mélange de vapeur d'eau et d'air sec (g/m ³)
Point de rosée	--	Température à laquelle il faut refroidir un volume d'air à pression et humidité constante, afin d'atteindre le point de saturation (°C).
Quantité de rayonnement photosynthétiquement actif	DLI	Quantité de rayonnement reçu en moles de photon par unité de surface et par jour (moles/m ² /jour), pour les longueurs d'ondes de 400 à 700 nm.

Termes économiques

Voici quelques définitions de termes économiques, adaptées au contexte agricole.

Terme	Définition
Revenu brut	Revenu total avant la déduction des dépenses. En agriculture : rendement x prix de vente
Coût variable	Coût des dépenses qui varie en fonction du nombre d'opération ou des unités produites. Ce coût n'inclut pas le temps de travail. En agriculture : intrants et énergie
Coût direct	Coût incluant l'ensemble des coûts directement rattachés à une production, sans besoin d'une règle de répartition. En agriculture : coût variable + temps de travail
Marge sur coûts directs	Montant excédentaire (ou déficitaire) entre le revenu brut et l'ensemble des coûts directs
Écart marginal	Somme des différences de revenus (revenus en plus, ou en moins) et des différences de coûts (coûts en plus ou en moins) entre 2 techniques qu'on cherche à comparer. Un écart marginal positif (gain marginal) indique que la première méthode est plus avantageuse économiquement que la seconde.

SYNTHÈSE

Concernant la température en serre froide, une gestion quotidienne avec plusieurs couches de couvertures flottantes permet de protéger les cultures testées du gel presque toute l'année, à l'exception des grands froids de janvier.

La gestion de l'humidité est un enjeu majeur autant en serre froide qu'en serre minimalement chauffée. Les cycles de déshumidification utilisés à l'INAB et en entreprises semblent avoir eu un faible effet sur la gestion de la vapeur d'eau présente dans les serres. Dans le cas de la serre minimalement chauffée, si les cycles de déshumidification ne procurent pas l'effet escompté, il faudrait voir s'il n'est pas mieux de simplement éliminer ceux-ci car ils entraînent un coût de chauffage supplémentaire.

L'analyse de la rentabilité du chauffage minimal suggère que cette stratégie est avantageuse d'un point de vue économique. Le chauffage entraîne aussi un revenu provenant du rendement supplémentaire supérieur au coût additionnel. En raison de l'accélération de la croissance des plants en février et mars, une fin hâtive des récoltes affectera toutefois le rendement et donc la rentabilité du chauffage. Les conclusions entourant la rentabilité du chauffage sont aussi partielles et doivent être réinterprétées en fonction du type d'énergie utilisée et du coût de l'énergie, des paramètres entourant la manutention des couvertures flottantes que l'entreprise souhaite mettre en place, etc. Dans le contexte actuel, les risques d'une humidité élevée et de condensation non-contrôlée sont toutefois plus grands en serre froide avec couvertures flottantes, augmentant ainsi le risque de maladies fongiques.

Comme perspectives, on note qu'une automatisation de la gestion des couvertures flottantes pourrait grandement avantager la production en serre froide. Le mode de chauffage électrique pourrait aussi venir changer le portrait économique du chauffage minimal, en plus d'élargir les possibilités en termes de déshumidification. Beaucoup d'exploration reste à faire afin de bien définir les paramètres du chauffage minimal. Une consigne de chauffage modulable en fonction de la luminosité disponible semble une option intéressante. Cela pourrait se traduire par exemple par une baisse de la consigne de chauffage à 0°C en janvier alors que les coûts sont au plus haut et que les cultures manquent de lumière, puis le retour d'un apport plus élevé en chauffage en février.

TYPE D'ABRIS

Mini-tunnel

Le mini-tunnel est un type d'abri temporaire ayant été popularisé principalement dans le cours du Jardinier Maraîcher. Son utilisation n'est pas très répandue pour l'instant sur les fermes. La structure présentée dans le cours du Jardinier Maraîcher est composée d'arches autofabriquées, faites à partir de tuyaux métalliques pour conduit électrique qui sont pliés selon la forme voulue. Les arches ont une largeur centre à centre de 2,43 m permettant de recouvrir 2 planches cultivées en mode bio-intensif (1,20 m centre à centre), et sont insérées dans des tiges en acier galvanisé fileté qui sont enfoncées dans le sol à environ 20 cm de profondeur. Les arceaux sont installés aux 1,5 m et recouverts d'une toile de plastique de serre. Le plastique est fixé avec de la corde à presse à foin qui va d'un côté à l'autre du mini-tunnel en zigzag, comme sur un tunnel chenille. L'avantage premier du mini-tunnel est son coût très faible soit environ 10\$/m². Cet abri sert de protection contre les intempéries (vent, pluie, neige, etc.), mais ne permet pas d'améliorer de façon significative les conditions climatiques comme la température et l'humidité de l'air (voir section suivante). La fin des récoltes d'automne est donc dictée par les températures extérieures, tout comme la production en champ. L'ergonomie du mini-tunnel est aussi un enjeu, car son dégagement en hauteur est d'environ 4 pi (1,22 m). La gestion de l'irrigation représente aussi un défi en période de gel et dégel, lorsque les sources d'approvisionnement en eau traditionnellement utilisées pour le champ ne sont pas disponibles.

A)



B)



Image 1. A) Mini-tunnel à l'INAB et B) effet de bordure observé sur une culture de roquette dans les mini-tunnels (photos CETAB+)

La gestion climatique dans un mini-tunnel se limite à l'ouverture et la fermeture des bords de tunnel ainsi qu'à l'installation de couvertures flottantes sous le mini-tunnel. Dès les premières

neiges, il n'est plus possible d'ouvrir les bords du mini-tunnel, ce qui est problématique dans le cas où l'un voudrait hiverner des cultures : au printemps l'augmentation de la température et de l'intensité lumineuse peut entraîner une augmentation rapide et extrême des températures, ce qui peut être mortel pour les cultures, surtout si des couvertures flottantes sont aussi présentes sous les mini-tunnels.

Serre individuelle

La serre individuelle est définie ici comme une structure permanente recouverte de deux couches de plastique (polyéthylène) et qui peut être chauffée ou non-chauffée (serre froide). Une serre à double paroi est recommandée pour le prolongement de la saison et la culture hivernale, car la couche d'air produit par la soufflerie entre les deux plastiques offre une isolation supplémentaire et limite la perte de lumière causée par la condensation de l'humidité sur la paroi intérieure de la serre. Il existe une vaste gamme de tailles et de modèles de serres individuelles sur le marché. L'investissement requis pour une serre avec équipement minimal était estimé à environ 205\$/m² en 2021 (AGDEX 731/290, 2021). Au niveau de la gestion climatique, les paramètres contrôlés dans une serre avec instrumentation minimale sont la température et l'humidité (côtés ouvrants, ventilateurs à flux d'air horizontal-HAF et pression positive, chauffage). L'isolation des pourtours sous terre de la serre est possible et souvent recommandée afin de limiter le refroidissement du sol de la serre par contact avec le sol extérieur. Pour une production hivernale, il est essentiel d'avoir un accès à l'eau d'irrigation protégé du gel. Cela requiert l'installation d'une valve antigel, placée sous la zone de gel du sol (~1,5m). Concernant l'option de chauffage minimal, le type d'énergie et de méthode de distribution de la chaleur est aussi très varié et dépasse le cadre de ce document. Un vidéo produit par l'équipe du CETAB+ décrit les principales caractéristiques de la serre individuelle utilisée dans le cadre du projet ainsi que les étapes de sa construction (voir le lien en fin de document).

A)



B)



Image 2. A) Serre froide et B) Isolation du pourtour de la serre avec des cœurs de porte à l'INAB (photos CETAB+).

GESTION CLIMATIQUE

Serre froide

Les possibilités de gestion climatique sont limitées en serre froide. L'objectif est de protéger les cultures de gels mortels et de contrôler, lorsque c'est possible, l'humidité de l'air. Une humidité trop élevée est, en effet, un facteur de risque important pour le développement de maladies, principalement fongiques. Un seuil de 0,5 kPa de déficit de pression de vapeur serait à respecter à cet effet (Champagne, 2021). Toutefois, encore très peu de producteurs maraîchers utilisent les valeurs de déficit de pression afin d'établir leur régie climatique, ceux-ci étant souvent plus familiers avec l'humidité relative. Grossièrement, le seuil de 80% d'humidité relative est généralement considéré comme la valeur maximale à ne pas dépasser afin de limiter les risques de maladies. Il existe encore peu d'information scientifique ou pratique sur les meilleures stratégies à utiliser pour la déshumidification en serre non-chauffée. Dans la serre froide de l'INAB, les HAF étaient toujours en fonction et la pression positive de jour était contrôlée par les paramètres de gestion de la température. Ainsi, un gradient avec l'air extérieur était programmé et démarrait la ventilation (côtés ouvrants et pression positive) lorsque la température intérieure de la serre dépassait 15°C. Les côtés ouvrants ont été hivernés du 29 novembre au 11 avril. Des séquences de ventilation étaient aussi programmés la nuit, soit 10 minutes aux 2 heures jusqu'à Noël. Les pulses de nuit ont été arrêtés en janvier en raison des risques de gel aux cultures malgré les couvertures flottantes. En général, la stratégie de ventilation n'a eu qu'un effet limité sur la gestion de l'humidité ambiante, tel qu'observé dans la section suivante.

Tableau 1. Régie pour la gestion des couvertures flottantes en serre froide à l'INAB

Température intérieure serre	Nb de couvertures flottantes
0°C	1e P30
-3°C	2e P30
-7°C	3e P30
-12°C	4e P30



Le tableau 1 décrit la stratégie de gestion des couvertures flottantes adoptée à l'INAB. On constate qu'un maximum de quatre couvertures flottantes de type P30 était installée lorsque la température intérieure de la serre était en bas d'environ -12°C. Ce type de stratégie requiert une manipulation quotidienne des couvertures flottantes, qui doivent être installées en fin de journée et retirées lorsque la température de la serre revient au-dessus du gel. En effet, la couverture

flottante de type P30 étant assez épaisse et opaque, la laisser pendant le jour limiterait la quantité de lumière disponible aux cultures, en plus de faire grimper la température sous bâche à des niveaux possiblement mortels pour les cultures (tel qu'observé dans les mini-tunnels, où il n'y avait pas de manipulation quotidienne des bâches après les premières neiges). Cette méthode chronophage de gestion des couvertures flottantes est toutefois peu adoptée parmi les maraîchers (voir section *En entreprise*).

Serre 5°C : Gestion climatique

La serre chauffée offre un potentiel plus grand de gestion climatique. Toutefois, il existe encore une fois peu d'information scientifique sur les meilleures stratégies à utiliser pour la déshumidification en serre minimalement chauffée lors des saisons froides. À l'INAB, seul un aérotherme de 175 000 BTU était disponible pour le chauffage de la serre de l'INAB. L'aérotherme ne possédant pas de cage d'écurie, aucun ballon n'était utilisé pour distribuer la chaleur dans la serre (Image 3). Le chauffage était programmé pour démarrer lorsque la température intérieure de la serre atteignait 4°C et pour s'arrêter lorsque la température était à 6°C. Des pulses de déshumidification automatique ont aussi été programmés pendant la nuit dans la serre 5°C. Ainsi à chaque deux heures, un pulse de ventilation par pression positive de 10 minutes était accompagné d'un pulse de chauffage de 10 min. L'effet sur l'humidité ambiante était toutefois faible, tel que présenté dans la section suivante. Un cycle de déshumidification était aussi programmé un peu après le lever du soleil, encore une fois de 10 minutes de ventilation pression positive et chauffage. Cela visait à limiter les risques de condensation sur le feuillage ou sur le sol, alors que l'air se réchauffe plus rapidement que les plants et le sol.

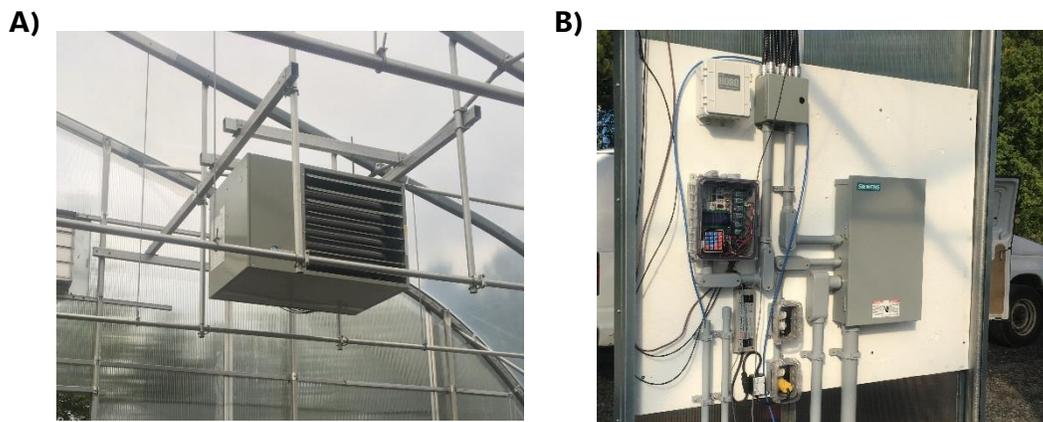


Image 3. A) Aérotherme et B) contrôleur climatique dans la serre 5°C (photos CETAB+)

DONNÉES CLIMATIQUES OBSERVÉES

Le présent projet de vitrine n'avait pas pour but d'optimiser la régulation climatique pour les cultures de climat frais sous abris et n'a donc pas mené à des recommandations précises concernant la gestion climatique en serre. Nous pouvons simplement faire le constat de l'enjeu en présentant les données mesurées dans les serres de l'INAB et en entreprises. À noter aussi qu'aucune analyse statistique n'a été réalisée sur les données climatiques.

Température de l'air

Les températures moyennes journalières sont présentées à la figure 1 et les moyennes, minimums et maximums mensuels sont présentés au tableau 3, pour l'année 2021-22. On constate sans surprise que le chauffage dans la serre 5°C a permis une certaine uniformisation des températures ambiantes tout au long de la saison. L'utilisation des couvertures flottantes dans la serre non-chauffée a permis de protéger les cultures contre le gel la majorité du temps. Toutefois, une différence de 2, 3, 6 et 4°C est observée entre les moyennes mensuelles de la serre froide sous bâche et la serre 5°C, de novembre à février. Même sous bâche, des températures jusqu'à -8°C

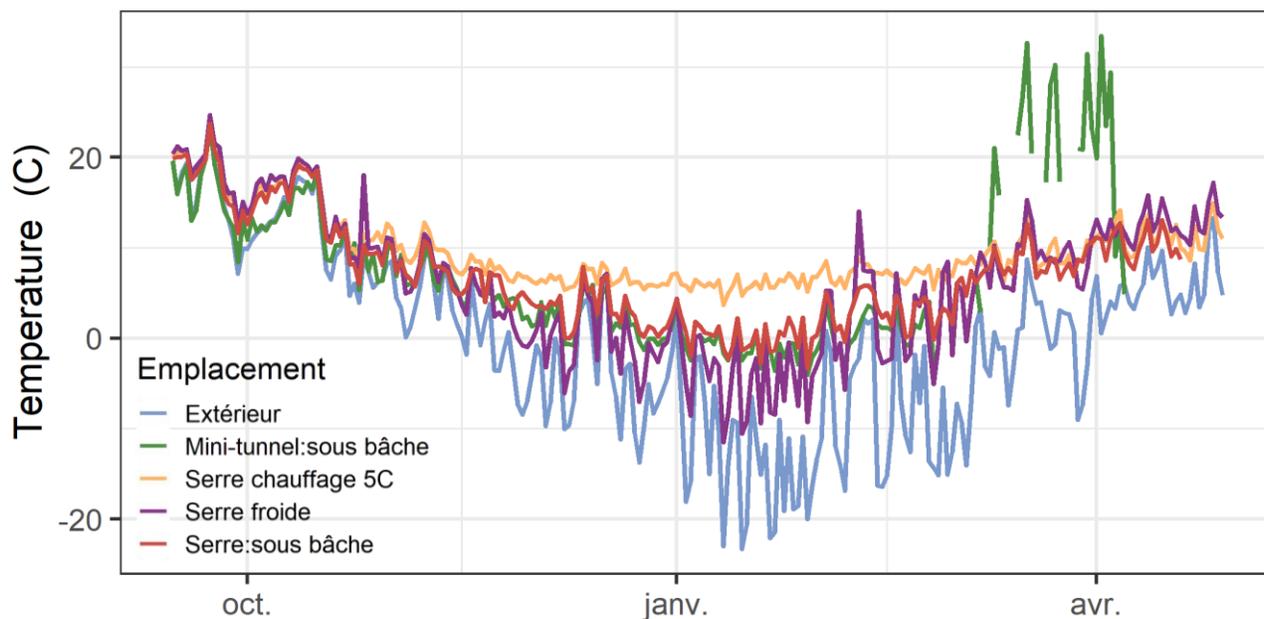


Figure 1. Moyenne des températures journalières en 2021-22 à l'INAB.

ont été mesurées dans la serre froide en janvier, avec un total de 12 jours qui avaient des températures moyennes sous 0°C. On constate aussi un enjeu au niveau du refroidissement des serres en mars lors du retour de la lumière et alors que le recours aux côtés ouvrants n'est pas

encore possible. Des maximums de température de 32°C ont en effet été atteints en serre froide et en serre 5°C.

La différence de température entre l'extérieur et l'intérieur à 4hAM soit le moment souvent le plus froid de la nuit, est présentée au tableau 2. On observe donc qu'en moyenne au plus froid de la nuit, la serre à double paroi de l'INAB permet de conserver entre 2-5°C de chaleur en comparaison avec l'extérieur, lorsqu'il n'y a pas d'ajout de chauffage ou de couverture flottante. Avec l'utilisation de couverture flottante, l'objectif est d'isoler la couche d'air inférieure qui est en contact avec le sol et qui contient les cultures. Le sol est dans ce cas-ci la masse thermique permettant d'emmagasinier la chaleur le jour et de la redistribuer sous la bâche la nuit (voir section suivante *température du sol*). Au plus froid de la nuit, l'utilisation de couverture flottante a donc permis de conserver 6, 12 et 9°C de plus qu'à l'extérieur en décembre, janvier et février.

Tableau 2. Différentiel moyen de température avec l'extérieur (delta T) à la fin de la nuit (4hAM) en Celsius (°C)

mois	Moyenne (°C)			
	Mini Tunnel	SFroide int serre	ss bâche	S5°C
Sept	0	2	1	1
Oct	0	2	1	2
Nov	2	2	3	5
Déc	5	2	6	11
Janv	11	5	12	19
Fév	6	5	9	14
Mars	--	--	7	9
Avr	3	--	3	3

-- : Les données sont manquantes pour ce mois.

Tableau 3. Moyenne, maximum et minimum de la température de l'air à l'INAB en Celsius (°C)

mois	Moyenne					Maximum					Minimum					Nb jour moy. sous 0°C			
	Ext	MT	SFroide	S5°C		Ext	MT	SFroide	S5°C		Ext	MT	SFroide	S5°C	Ext	SFroide		S5°C	
			int serre ¹	ss bâche ²				int serre	ss bâche				int serre	ss bâche		int serre	ss bâche		
Sept	16	16	19	18	19	29	33	34	32	34	3	4	7	6	7	0	0	0	0
Oct	11	12	15	13	14	26	28	34	31	34	-2	-2	1	0	4	0	0	0	0
Nov	2	6	5	7	9	16	29	22	24	22	-13	-3	-11	0	2	9	3	0	0
Déc	-4	2	0	3	6	15	24	17	22	16	-20	-4	-16	-3	1	25	16	1	0
Janv	-13	-1	-4	0	6	5	18	18	19	16	-29	-8	-21	-8	-3	30	26	12	0
Fév	-8	1	2	3	7	7	27	23	19	20	-24	-6	-15	-5	2	23	13	2	0
Mars	-2	22	--	8	9	19	49	--	32	31	-21	0	--	-4	2	16	--	0	0
Avr	6	16	--	10	11	21	45	--	27	30	-5	1	--	-1	-1	0	--	0	0

¹int serre : température à l'intérieur de la serre froide

²ss bâche : température à l'intérieur de la serre froide sous les bâches (couvertures flottantes)

³Nb jour moy. sous 0°C : nombre de jours par mois ou la moyenne de température sur 24 heures était sous 0°C

-- : Les données sont manquantes pour ce mois.

Température du sol

La figure 2 présente la température moyenne du sol à l'INAB. On constate que cette dernière oscillait entre 2 et 5°C dans la serre froide et entre 5 et 8°C dans la serre 5°C de janvier à mars. On observe une certaine variation journalière de la température du sol, particulièrement dans la serre froide. Il est aussi intéressant de noter que la température du sol n'est jamais descendu sous 0°C dans la serre froide et la serre 5°C. En comparaison, dans les mini-tunnels, la température du sol était similaire à la température du sol dans le champ à côté de ceux-ci (sonde identifiée *Extérieur*), avec des températures égales ou inférieures à 0°C 10 jours en janvier et 11 jours en février 2022.

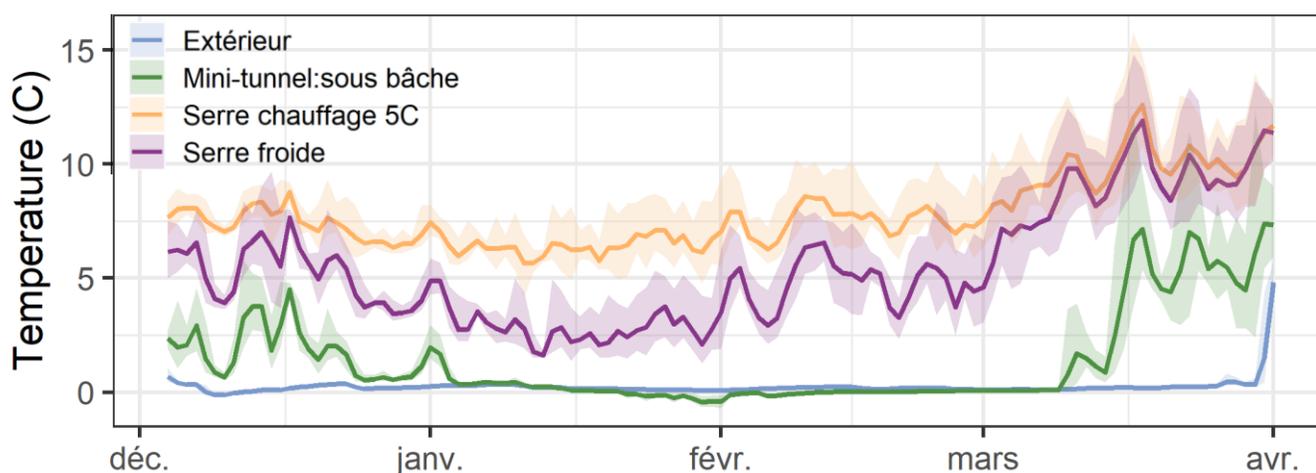


Figure 2. Température journalière moyenne, minimale et maximale du sol à l'INAB en Celsius (°C) en 2021-22.

Humidité

L'humidité est un des paramètres climatiques les plus importants pour la culture en serre, mais il est aussi un des plus difficiles à contrôler, particulièrement lors des saisons froides. Une humidité trop faible peut, en effet, ralentir la croissance des cultures, tandis qu'une humidité trop élevée peut augmenter les risques de condensation et les risques de maladies fongiques, diminuer la radiation solaire entrant dans la serre ainsi que réduire la transpiration des plantes et l'absorption des nutriments (Amani et al. 2021). En saison froide, une humidité relative élevée est observée dès le coucher du soleil et toute la nuit, en raison de la baisse de température. Dans le type de serre communément utilisée par les fermes maraîchères de petite taille, l'humidité ambiante est contrôlée seulement par des échanges avec l'air extérieur, soit par la ventilation naturelle (côtés ouverts), les HAF ou la ventilation positive. On comprend donc qu'en saison froide, toute

tentative de déshumidification entraîne une perte de chaleur et donc, soit un coût de chauffage supplémentaire, soit une perte nette de chaleur qui peut mener à des températures sous le seuil de gélivité des cultures dans le cas d'une serre froide.

Les données d'humidité relative (HR) sont présentées au tableau 5. Les sondes utilisées pour la mesure de l'humidité peuvent cependant manquer de précision en contexte d'humidité élevée, ce qui est le cas ici. Les différences observées sont donc à prendre avec nuance. On constate qu'en général, les moyennes mensuelles d'HR suivent la tendance suivante : sous bâche serre froide > intérieur serre 5 °C > intérieur serre froide. Le tableau 4 présente le nombre d'heures moyen durant lequel l'HR ambiante était égale ou supérieure à 90%. On constate donc que la problématique d'humidité trop élevée est particulièrement sévère dans la serre froide sous bâche durant les mois de novembre à février, alors qu'en moyenne pour ces mois, 19 à 22 heures par jour avaient une HR au-dessus de 90%. La régie climatique de la serre 5°C semble avoir permis un certain contrôle de l'HR, avec environ la moitié moins d'heures avec une HR au-dessus de 90%, pour les mois de décembre, janvier et février que dans la serre froide. Les paramètres climatiques nécessaires au développement des principaux pathogènes fongiques sont bien connus pour les conditions d'été toutefois peu d'informations existent en contexte de climat frais. Ces recherches sont nécessaires afin d'établir par exemple le temps d'exposition maximale d'une culture à une humidité excessive, avant lequel il peut y avoir prolifération des pathogènes.

Tableau 4. Moyenne mensuelle du nombre d'heures quotidien avec une humidité relative au-dessus de 90% en 2021-22 à l'INAB.

mois	Ext	MT	SFroide		S5°C
			int serre	ss bâche	
Sept	9	6	6	12	12
Oct	11	14	12	16	16
Nov	9	17	8	19	13
Déc	8	22	4	22	10
Janv	6	23	5	20	6
Fév	11	19	--	19	10
Mars	9	1	--	16	12
Avr	8	6	--	15	15

-- : Les données sont manquantes pour ce mois.

Tableau 5. Moyenne, maximum et minimum de l'humidité relative à l'INAB (%).

mois	Moyenne					Maximum					Minimum				
	Ext	MT	SFroide		S5°C	Ext	MT	SFroide		S5°C	Ext	MT	SFroide		S5°C
			int serre	ss bâche				int serre	ss bâche				int serre	ss bâche	
Sept	79	79	73	82	80	99	97	94	100	100	33	34	32	38	34
Oct	84	86	79	87	87	99	97	94	100	100	31	42	27	33	26
Nov	80	87	84	92	89	100	99	93	100	100	36	31	38	41	40
Déc	80	94	84	95	87	99	99	91	100	100	36	54	40	48	62
Janv	76	94	78	93	78	99	99	91	100	100	37	78	46	53	55
Fév	78	91	72	92	85	100	99	85	100	100	45	30	43	57	57
Mars	78	53	--	88	85	100	100	--	99	100	39	22	--	23	32
Avr	68	57	--	84	83	100	98	--	99	100	23	11	--	25	24

La condensation est souvent un problème en serre, particulièrement lorsqu'elle a lieu sur les feuilles ou fruits des plants ou sur le sol. Les épisodes de condensation surviennent lorsque la température de l'objet (plante, sol, plastique de serre) est plus froide que la température de l'air et que l'humidité relative de l'air est élevée. Le lever du soleil est une période particulièrement à risque, surtout lors des journées ensoleillées, car sans ventilation la température de l'air à l'intérieur de la serre augmentera plus rapidement que la température du feuillage et du sol. Une condensation généralisée peut aussi s'observer lorsque la température ambiante est proche du point de rosée (mais supérieur à 0°C). Le présent n'a pas permis de quantifier les risques de condensation sur le feuillage des légumes ou au sol. Nous avons toutefois quantifié les périodes avec risques de condensation généralisée. À l'INAB, le nombre d'heures par jour où l'écart entre la température ambiante et la température du point de rosée était de 2°C ou moins a été calculée afin de quantifier les périodes avec risque de condensation généralisée. Les résultats sont présentés à la figure 3. On constate donc un niveau particulièrement élevé de risque de condensation dans la serre froide sous les couvertures flottantes, avec un peu moins de 300 heures au total par mois en octobre, novembre et décembre. Les couvertures flottantes sont en place à des moments critiques pour la gestion de l'humidité soit au coucher et lever du soleil, alors qu'aucune ventilation n'est possible sous celles-ci. Dans la serre 5°C, il semble que le temps d'exposition à des risques de condensation était au plus haut d'octobre à décembre puis a baissé drastiquement en janvier. Plus de recherches sont nécessaires afin de bien comprendre les dynamiques de l'humidité en contexte de climat frais et afin d'optimiser la régulation climatique en serre minimalement chauffée.

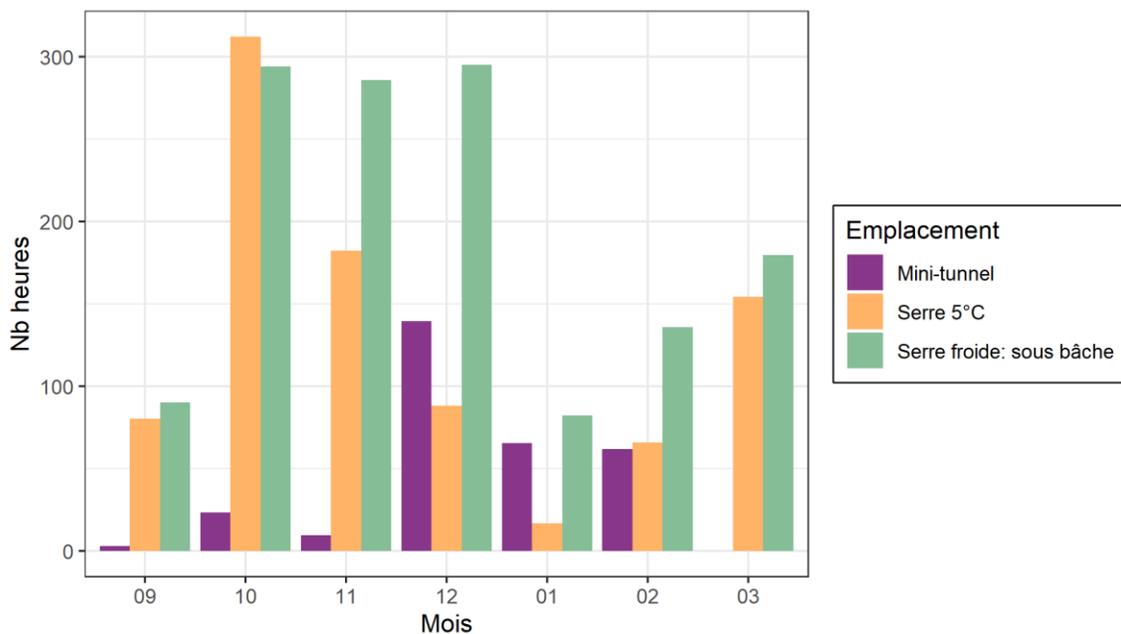
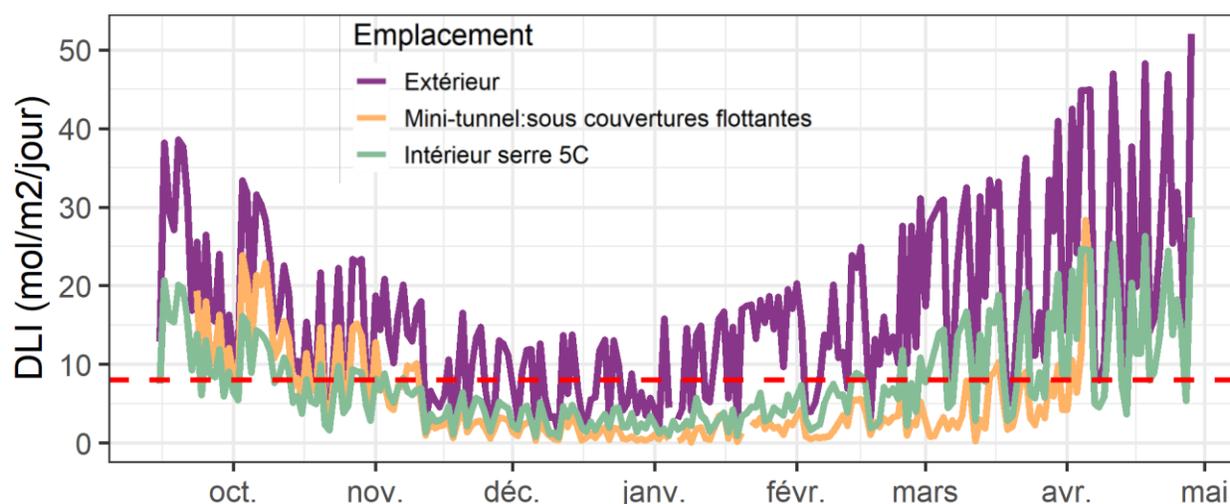


Figure 3. Somme du nombre d'heures avec risque de condensation en 21-22 à l'INAB

Luminosité

La quantité de rayonnement photosynthétiquement actif ou DLI est présentée à la figure 4. On peut d'abord, sans grande surprise, constater la baisse de luminosité pendant le creux de l'hiver, de la mi-novembre à la mi-janvier. La ligne en rouge à $8 \text{ mol/m}^2/\text{jour}$ est le DLI minimum établi pour plusieurs cultures de type légumes, seuil sous lequel les plants commenceraient à étioler (Glenn, 1984). Ces besoins avaient toutefois été établis pour une température moyenne journalière de 25°C . Il serait intéressant et nécessaire d'établir les minimums requis pour la croissance en fonction d'un seuil de température représentatif de la culture en contexte de climat frais. Une distinction au niveau de l'espèce serait aussi nécessaire, afin de valider les observations terrains entourant le nombre de jours à maturité en fonction de la luminosité. On constate aussi une baisse assez drastique de la quantité de rayonnement disponible à l'intérieur de la serre, à comparer à l'extérieur, malgré des toiles de polyéthylène neuves sur les serres. En effet, les niveaux de DLI mesurés par les capteurs à l'intérieur de la serre sont souvent en deçà des seuils théoriques de transmission de la lumière (sans effet de la structure, condensation, poussière, etc.) établis à environ 77-91% pour un polyéthylène, variant selon l'épaisseur et le type de traitement (ex. : anti-condensation) (Bartok, 2013). L'emplacement de la sonde PAR peut en effet avoir un effet important sur la quantité de rayonnement mesurée ainsi que la présence d'ombrage créée par différents éléments de la structure. L'ajout de capteurs supplémentaires en serre permettrait possiblement d'augmenter la robustesse et la précision des données.

Figure 4. Quantité de rayonnement photosynthétiquement actif par jour ou DLI ($\text{mol/m}^2/\text{jour}$)



GESTION ET PARAMÈTRES CLIMATIQUES EN ENTREPRISE

Ferme Chapeau Melon

La *Ferme Chapeau Melon (FCM)*, située en Outaouais, produit plusieurs cultures en serres froides à l'année et dans une de ses serres, jusqu'à trois bâches P-40 sont installées et enlevées quotidiennement à l'aide d'une enrouleuse de fabrication maison. Dans cette serre, le contour est isolé et la ventilation, gérée par une ouverture pour ventilation positive, est démarrée lorsque la température intérieure dans la serre est au-dessus de 2°C. Cela explique les températures moyennes journalières (figure 6), inférieures à celles observées à l'INAB et dans d'autres serres froides. Cette régie climatique ne semble pas avoir affecté le potentiel de rendement de la laitue salanova, mais n'a pas non plus permis le contrôle des maladies fongiques. Plus de recherches sont nécessaires afin de déterminer les températures optimales de croissance en fonction de la luminosité et de la culture. Sans surprise, la durée d'exposition à des risques de condensation est plus élevée sous bâche que dans la serre froide au-dessus des bâches (figure 5). Tel qu'observé sur les autres fermes, le nombre d'heures avec risque de condensation diminue aussi assez drastiquement en janvier à comparer à décembre, possiblement en raison d'une ventilation plus efficace, mais aussi des températures sous 0°C qui ont été exclues du décompte.

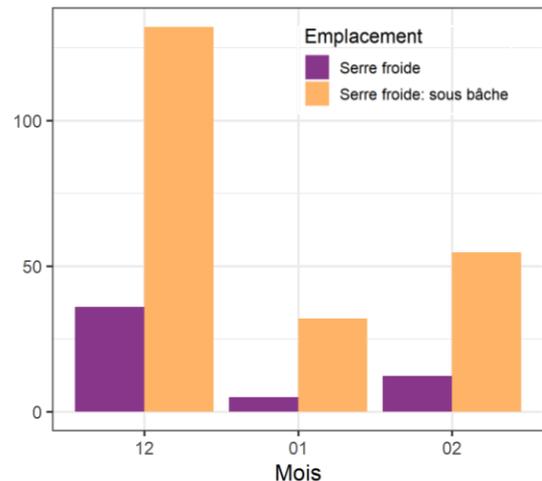


Figure 5. Somme du nombre d'heures avec risque de condensation (FCM 21-22)

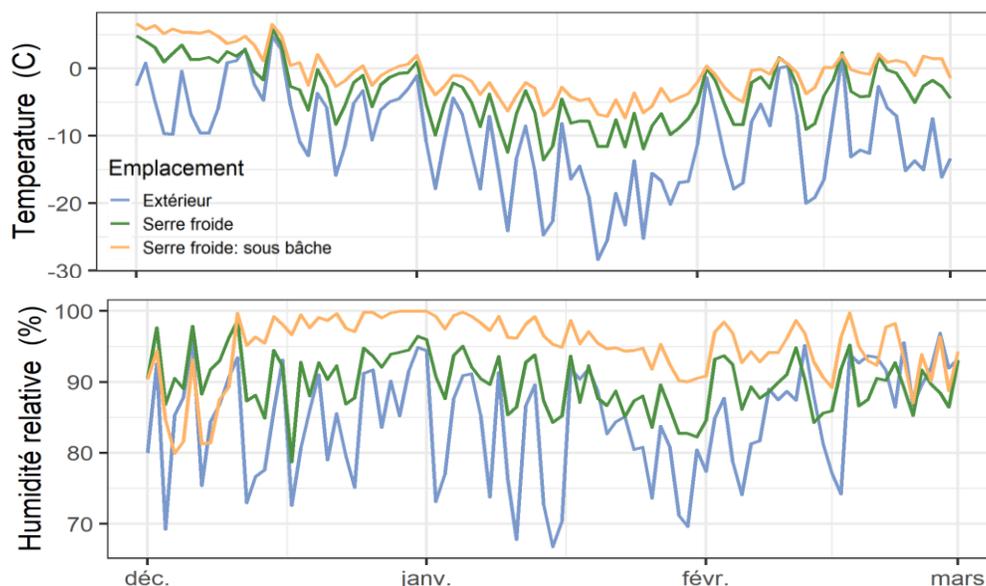


Figure 6. Température et humidité relative en serre (FCM 21-22)

Ferme du Coq à l'âne de Bury

La *Ferme du Coq à l'âne de Bury (FCAB)*, située en Estrie, cultive une vaste gamme de légumes à l'année dans trois serres non-chauffées ou minimalement chauffées pour sa distribution de panier d'automne et d'hiver. Toutes les serres ont une paroi de plastiques doubles et n'ont pas d'isolation en pourtour. Le chauffage des serres est fait avec une fournaise à l'eau chaude alimentée au bois. Deux ballons par serre (pour cinq planches) permettent de répartir l'air chaud. La consigne de chauffage dans la serre minimalement chauffée était établie à 2°C. Il n'y a pas eu de déshumidification à l'hiver 2021-2022. Seuls deux HAF étaient installés pour uniformiser et destratifier la température dans la serre. Dans la serre froide en 21-22, une couverture flottante de type P30 était installée sur les cultures en décembre puis retirée en février au moment des récoltes. Les moyennes de température et d'humidité relative sont présentées à la figure 8. On constate donc que le risque de condensation dans la serre minimalement chauffée était particulièrement élevé en novembre et décembre (figure 7). Il semble que contrairement à l'INAB, il y avait plus de risque de condensation dans la serre 2°C que dans la serre froide sous bâche. À noter que le type, le nombre de couvertures flottantes et la méthode de gestion quotidienne sont peut-être en cause.

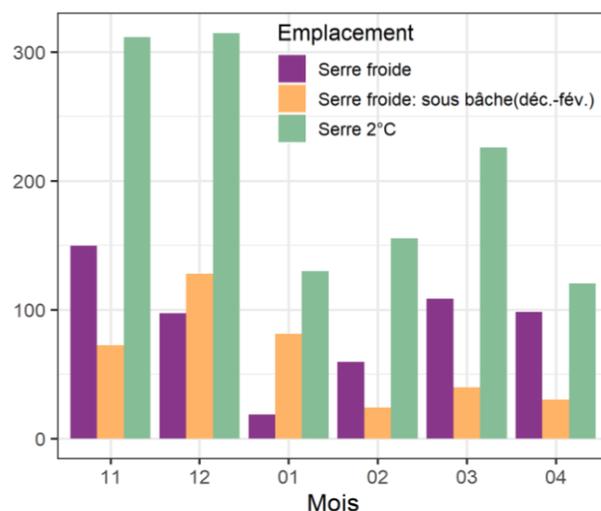


Figure 7. Somme du nombre d'heures avec risque de condensation (FCAB 21-22)

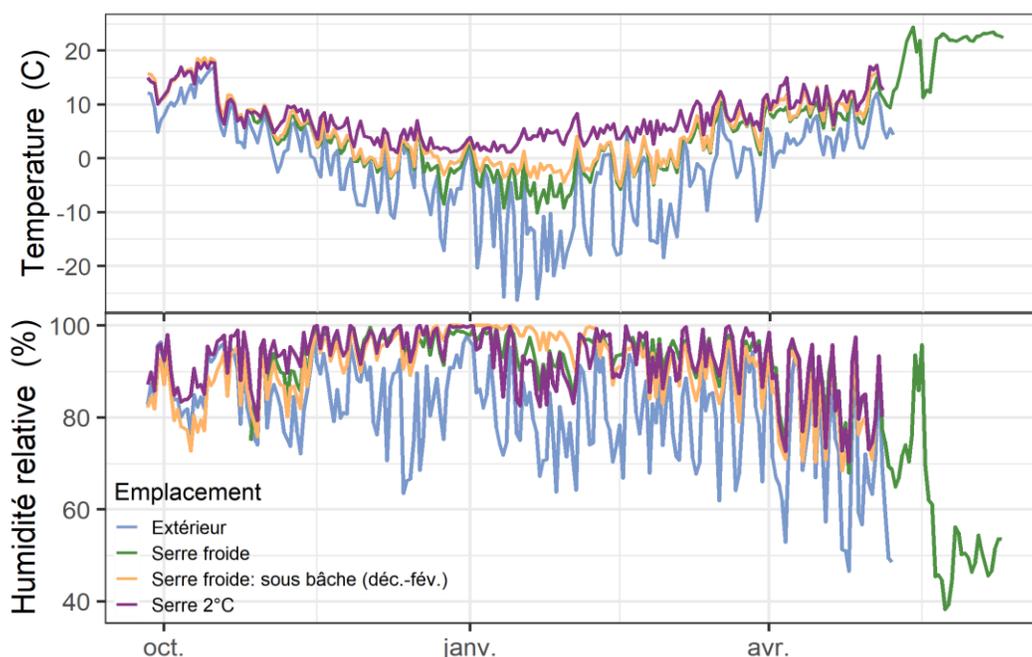


Figure 8. Température et humidité relative en serre (FCAB 21-22)

Ferme La Coulée Douce

La ferme de la Coulée Douce (FCL) située dans la région de Chaudière-Appalaches produit des verduettes afin de garnir ses paniers d'automne distribués jusqu'à la fin novembre. La serre froide documentée ici était à double polyéthylène, possédant des HAF ainsi qu'une pression positive. Une couverture flottante (P19) était utilisée la nuit afin de protéger les cultures du gel lorsque nécessaire. On constate peu d'effet de l'unique épaisseur de couverture flottante sur la température en général (figure 10). À la figure 9, on constate une tendance similaire à celle de l'INAB soit de plus longues périodes avec risques de condensation à l'automne avant Noël. Les moyennes de températures en serre sont aussi sous 0°C pour les mois de janvier et février, ce qui n'empêche pas le producteur d'hiverner certaines cultures résistantes au gel comme l'épinard, pour des récoltes de primeur tôt au printemps. À noter, le producteur est aussi en mesure de fournir un chauffage d'appoint à l'aide d'un système de chauffage électrique. Celui-ci n'est toutefois utilisé que très rarement, soit en avril en cas de nuits froides avant la récolte des primeurs.

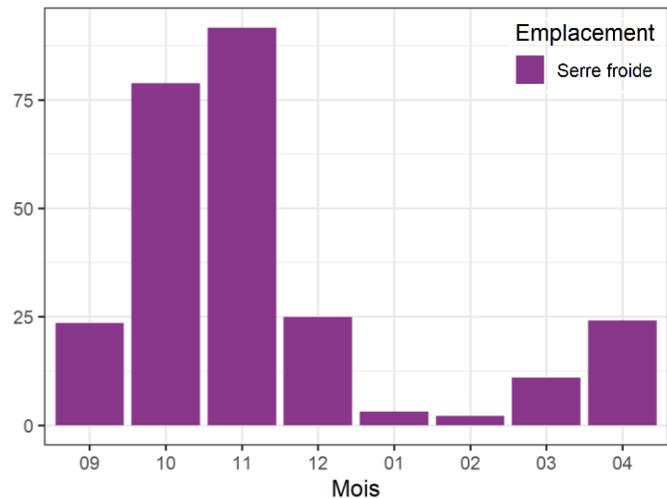


Figure 9. Somme du nombre d'heures avec risque de condensation (FCL 21-22)

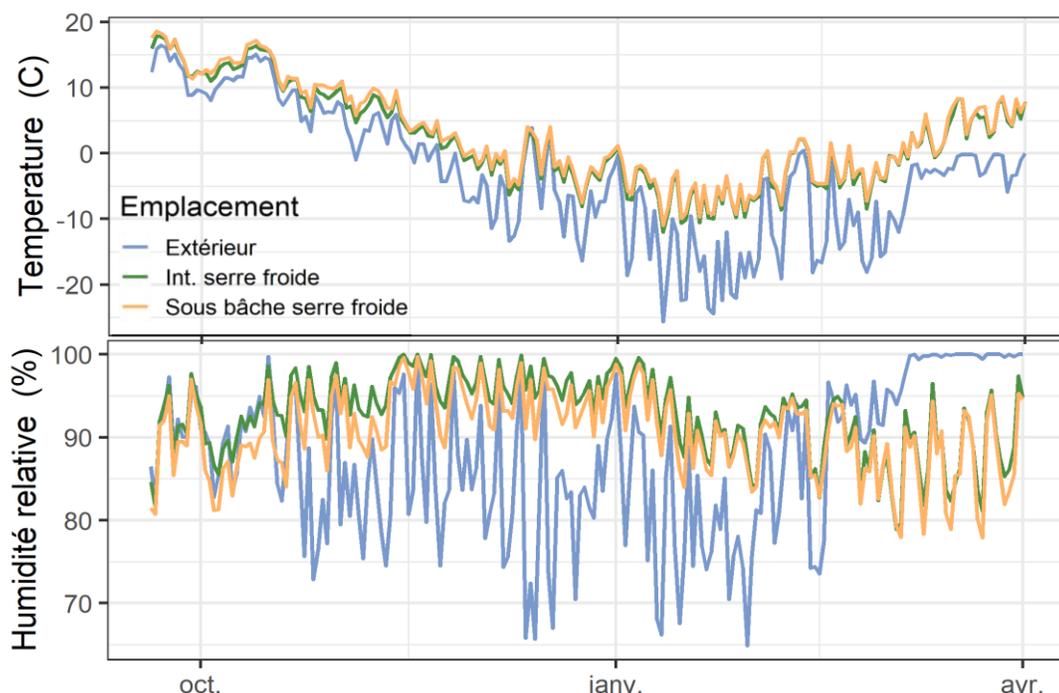


Figure 10. Température et humidité relative en serre (FCL 21-22)

Ferme des Quatre-Temps

La *ferme des Quatre-Temps (FQT)*, située en Montérégie, produit des légumes à l'année dans des serres froides et minimalement chauffées. Ici, la serre froide était une serre à paroi double dont les côtés ont été isolés avec des panneaux de styromousse enfouis et dotée de HAF et d'une pression positive. La régie climatique prévoyait un démarrage de la pression positive lorsque la température à l'intérieur de la serre était au-dessus de 15°C. Jusqu'à trois couvertures P19 étaient appliquées par-dessus les cultures et étaient enlevées lors des journées ensoleillées. Celles-ci ont toutefois été laissées en place du 15 décembre au 20 janvier. La serre 3°C était une serre multichapelles recouverte de deux plastiques avec les côtés isolés aux styromousses et dotée de HAF et d'une pression positive par chapelle. Le chauffage au propane était distribué avec des ballons de chauffage installés au niveau des cultures à chaque deux planches. Un chauffage du sol au glycol était aussi en fonction et fixé à 8°C. Quatre cycles de déshumidification par jour étaient prévus afin d'éviter que l'humidité relative ambiante ne monte au-dessus de 90%. En serre froide, les couvertures flottantes semblent avoir eu un effet minime sur la température (figure 11). Les risques de condensation étaient particulièrement bas dans la serre 3°C, suggérant une certaine efficacité des cycles de déshumidification. Il

serait intéressant d'étudier si le chauffage du sol a joué un rôle dans cette diminution du risque de condensation ambiant. Comme à l'INAB, les risques de condensation étaient particulièrement élevés sous bâche en octobre, novembre et décembre puis ont descendu drastiquement en janvier. Cela est encore une fois probablement dû au fait que lors des périodes à risque (levée du soleil), la température sous bâche était encore sous 0°C.

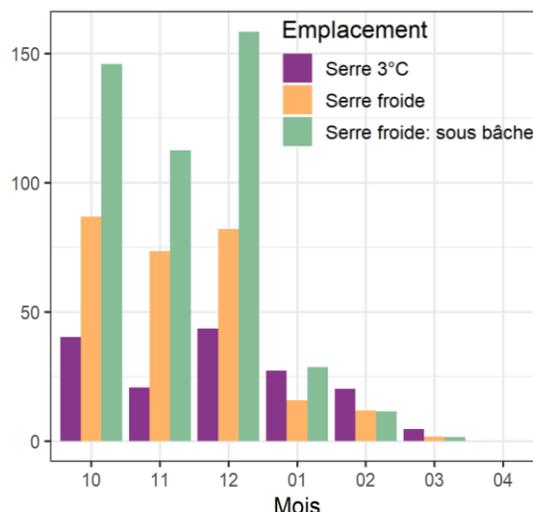


Figure 12. Somme du nombre d'heures avec risque de condensation (FQT 21-22)

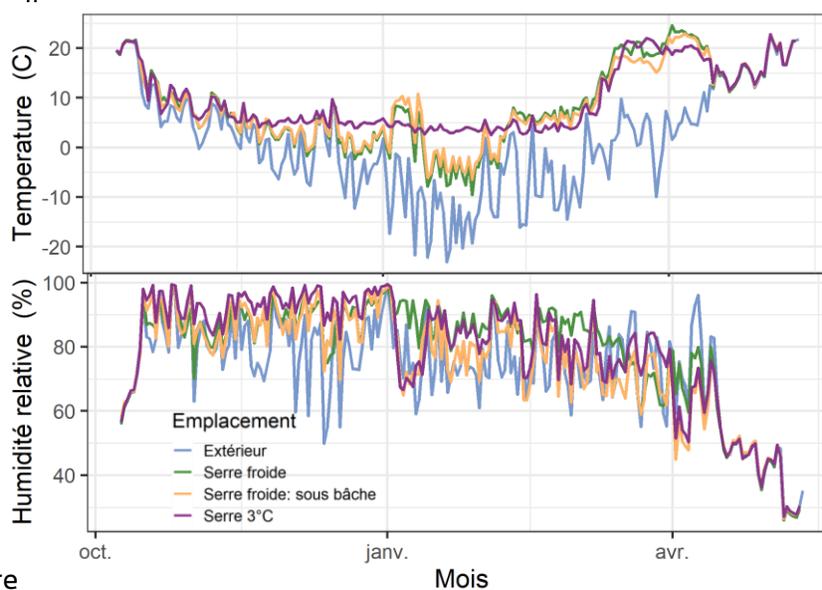


Figure 11. Moyenne journalière de la température et humidité relative en serre (FQT 21-22)

ASPECTS ÉCONOMIQUES

Une analyse technico-économique a été réalisée afin de répondre aux questions suivantes :

- Quel est le coût de la gestion climatique pour les cultures de climat frais à l'étude ?
- Quels sont les autres facteurs économiques majeurs pour ces productions ?
- Est-ce qu'une serre avec chauffage minimal est plus avantageuse qu'une serre froide pour les cultures à l'étude, du point de vue des marges économiques?

Les analyses s'appuient sur les essais réalisés à l'INAB sur quatre cultures en serre 5°C et en serre froide avec couvertures flottantes ainsi que sur les données fournies par les fermes partenaires du projet. Le cas des mini-tunnels n'est pas traité ici. À l'INAB, un compteur de la consommation en propane a été installée et des lectures de compteur étaient prises tous les 7 à 14 jours. À noter, le coût du chauffage est une donnée hautement variable affectée par : le type de chauffage et la source d'énergie, les consignes climatiques, l'étanchéité du bâtiment, la région climatique, la température extérieure, etc. Les données présentées ici sont donc à utiliser avec prudence selon le contexte de chaque entreprise.

Coûts variables liés à la gestion climatique

Serre 5°C

Pour estimer les coûts unitaires de chauffage, la consommation totale en combustible a été calculée du semis à la dernière récolte et cette valeur (litres consommés pour la serre complète) a été rapportée en surface unitaire de serre cultivable (m²). Le prix du propane utilisé pour les calculs est 0,628 \$/litre (AGDEX 760/821, 2021). Les résultats sont présentés au tableau 6. Le coût total du chauffage au propane pour la serre de 224 m² pour la période d'octobre 2021 à avril 2022 était de 2 475 \$. Par mois, janvier a été le mois le plus cher (804\$), tandis qu'octobre (59\$) et avril (56\$) ont été les deux mois les moins chers. En considérant une superficie cultivable de 177 m², le coût unitaire est estimé à 11,1 \$/m² pour l'ensemble de la période en culture. Les résultats détaillés pour les revenus et les coûts par culture figurent à l'annexe 1.

Serre froide

En serre froide, le coût pour la gestion climatique est associé au temps de manutention quotidienne des couvertures flottantes ainsi qu'au coût d'achat des couvertures. Le coût de manutention a été estimé à 15 minutes par jour pour une serre de 224 m². Le taux horaire utilisé est de 18\$/heure. Le coût d'achat de couvertures de type P30 a été estimé à 0,94\$/m² (jusqu'à quatre couches), en considérant une durée de vie utile de 3 ans. Il est important de noter que

cette régie quotidienne des couvertures flottantes n'est pas observée sur toutes les entreprises, certaines préférant laisser les couvertures en place pendant certaines périodes de l'hiver. L'analyse technico-économique est donc à nuancer selon la réalité de l'entreprise.

Tableau 6. Coût associé aux différentes régies climatiques dans la serre 5°C et dans la serre froide à l'INAB en 2021-22.

Mois	Coût cumulatif (\$)	Coût mensuel (\$)	Coût unitaire cumulatif (\$/m ²)
Coût du chauffage dans la serre 5°C			
Oct	59\$	59\$	0,3\$
Nov	397\$	339\$	1,8\$
Déc	902\$	504\$	4,0\$
Janv	1 707\$	805\$	7,6\$
Fév	2 172\$	465\$	9,7\$
Mars	2 419\$	247\$	10,8\$
Avr	2 475\$	56\$	11,1\$
Coût associé à l'utilisation de couvertures flottantes en serre froide			
Oct	256 \$	256 \$	1,1 \$
Nov	601 \$	346 \$	2,7 \$
Déc	951 \$	350 \$	4,2 \$
Janv	1 301 \$	350 \$	5,8 \$
Fév	1 638 \$	337 \$	7,3 \$
Mars	1 988 \$	350 \$	8,9 \$
Avr	2 284 \$	296 \$	10,2 \$

La figure 13 présente une comparaison des coûts unitaires mensuel entre le chauffage dans la serre 5°C et la gestion quotidienne des couvertures flottantes dans la serre froide. Le coût unitaire est plus élevé en serre froide pour les mois d'automne. En décembre, considérant les paramètres de gestion climatique choisi pour les serres de l'INAB, les coûts sont très similaires entre les deux régies. En janvier, les coûts du chauffage minimal deviennent nettement plus élevés. Pour les trois mois d'hiver, l'écart entre les deux régies est de l'ordre de 2\$/m². En avril, l'écart entre les 2 régies se réduit.

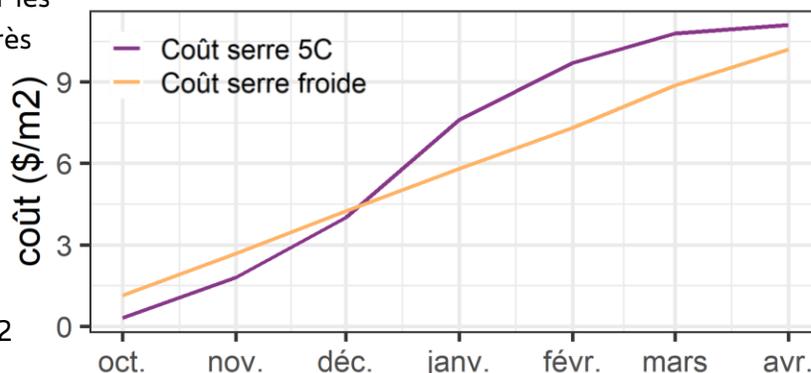


Figure 13. Coût unitaire cumulatif associé à la régie climatique en serre 5C et en serre froide.

Estimation des écarts marginaux

Le tableau 7 présente les écarts marginaux des revenus bruts et des coûts associés à la gestion climatique entre la serre 5°C et la serre froide à l'INAB (les gains marginaux sont présentés en annexe 2, tableau 12). Ces écarts, en \$/m², reflètent les variations au niveau des rendements ou des coûts, selon les cultures et les dates d'implantation. Il est important de mentionner que ces résultats sont à interpréter avec nuances. Ni la régie climatique ni la régie de culture n'est encore optimisée pour ce type de production et les rendements varient grandement selon l'entreprise. De plus, malgré un souci pour le respect des stades de récolte des cultures, une portion de la variabilité observée dans les rendements, et donc dans les revenus, est due à un délai de quelques jours pour la récolte de certaines cultures, gonflant ainsi les rendements par m² mesuré. Il est tout de même possible de tirer les tendances générales de cette analyse.

Au niveau des revenus, les écarts marginaux sont positifs pour la moyenne des implantations, ce qui signifie une augmentation de rendements et donc des revenus en serre chauffée globalement, en comparaison à la serre froide. Cependant, on note des écarts-type importants et des valeurs négatives (rendement et revenus supérieurs en serre froide) pour l'implantation du 4 octobre et ce, pour 3 cultures sur 4. Concernant le coût du chauffage, on observe des écarts marginaux positifs en défaveur de la serre 5°C, à l'exception du bok choy pour lequel la régie en serre froide coûte plus cher que la régie en serre 5°C. Dans le cas du bok choy, cela s'explique par le fait que sa période de croissance est concentrée dans les mois plus chauds avant Noël, où le coût du chauffage était inférieur au coût de gestion des couvertures flottantes.

On constate aussi que pour l'épinard, la laitue et la roquette en serre 5°C, les gains de revenus bruts sont de l'ordre de 1,5 à 2 fois plus élevés que les coûts supplémentaires occasionnés par le chauffage. Pour le bok choy, le chauffage minimal permet à la fois des gains de rendements et une économie de coût de gestion thermique (sauf pour la dernière date d'implantation). Le chauffage minimal représente un avantage économique pour cette culture, mais avec des gains de rendements moins marqués, à l'exception de l'implantation la plus tardive.

Tableau 7. Écart marginaux (\$/m²) pour les revenus bruts et les coûts associés à la gestion climatique entre la serre 5°C et la serre froide en 2021-22.

Implantation	Épinard		Laitue		Roquette		Bok choï	
	Revenu brut	Coût gestion clim.						
14 sept.	6,75 \$	6,61 \$	15,00 \$	5,13 \$	22,50 \$	3,21 \$	2,00 \$	(0,94 \$)
24 sept.	(2,25 \$)	6,61 \$	45,00 \$	2,49 \$	15,00 \$	2,74 \$	1,00 \$	(0,85 \$)
4 oct.	11,25 \$	6,52 \$	(15,00 \$)	6,52 \$	(12,50 \$)	2,38 \$	(1,00 \$)	(1,10 \$)
14 oct.	22,50 \$	6,45 \$	10,00 \$	6,78 \$	7,50 \$	4,54 \$	7,00 \$	(0,27 \$)
25 oct.	6,75 \$	6,43 \$	(2,50 \$)	6,76 \$	2,50 \$	4,99 \$	25,00 \$	1,61 \$
Moyenne	9,00 \$	6,52 \$	10,50 \$	5,53 \$	7,00 \$	3,57 \$	6,80 \$	(0,31 \$)
Écart-type	9,00 \$	0,09 \$	22,53 \$	1,83 \$	13,28 \$	1,14 \$	10,59 \$	1,12 \$

Note : une valeur positive au niveau du revenu indique un avantage pour la serre 5°C (revenu serre 5°C > revenu serre froide), tandis qu'une valeur positive au niveau du coût indique un désavantage pour la serre 5°C (coût serre 5°C > coût serre froide).

Analyse de sensibilité des résultats

Impact de la fluctuation du coût du propane

Évidemment, la rentabilité du chauffage minimal sera grandement affectée par le type d'énergie et par le prix de la ressource. Or, le prix des combustibles fossiles étant sujet à beaucoup de volatilité, une analyse de sensibilité a été réalisée afin d'étudier l'impact des fluctuations du prix du propane à la ferme, sur le coût et les marges, en serre minimalement chauffée à 5°C, pour une production d'épinards. Les moyennes de rendement et de consommation en propane à l'INAB pour les 6 dates d'implantation ont été utilisées pour l'analyse. Les coûts d'approvisionnement ainsi que le temps de travail moyen utilisés dans cette analyse ont été tirés d'informations collectées auprès des fermes partenaires du projet. Le sommaire des résultats est présenté à la figure 14 et un détail des calculs est présenté au tableau 8. À noter que l'analyse a été réalisée pour une serre avec 280 m² de superficie totale (30 pi x 100 pi) et 250 m² de superficie utile, un modèle souvent retrouvé sur les entreprises maraîchères biologiques diversifiées.

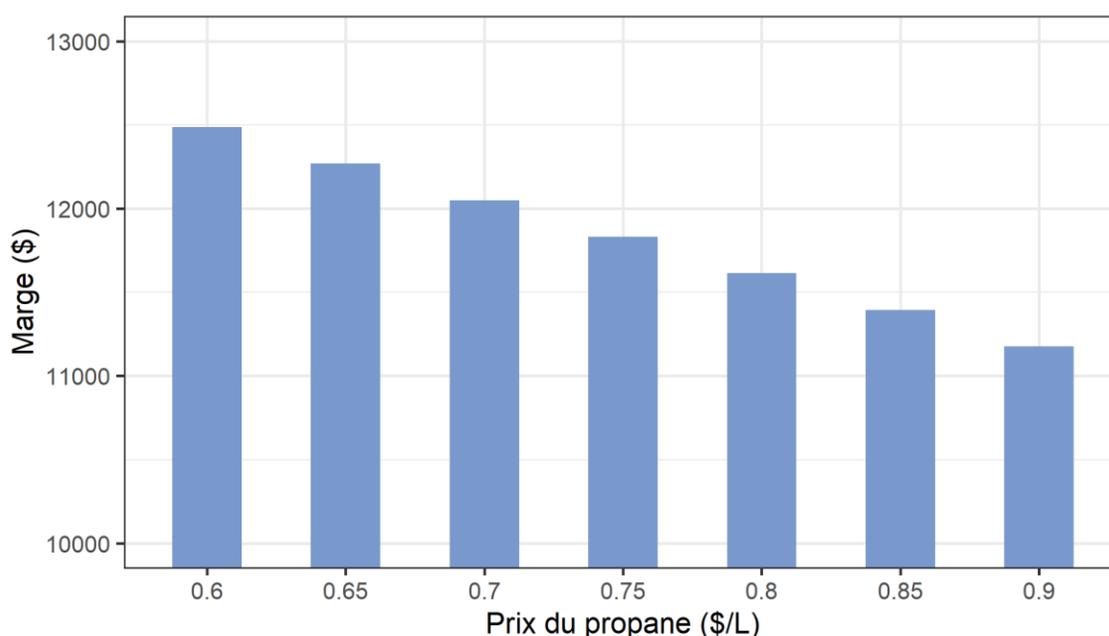


Figure 14. Évolution de la marge sur coûts directs pour une serre d'épinards (250 m² utiles) chauffée à 5°C, selon le prix du propane.

Tableau 8. Ventilation des coûts et évolution de la marge sur coûts directs pour une serre d'épinards (250 m² utiles) chauffée à 5°C, selon le prix du propane

		Prix du propane (\$)						
		0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
Revenus bruts	3,42 kg/m ² à 22,5 \$/kg	19 238\$	19 238\$	19 238\$	19 238\$	19 238\$	19 238\$	19 238\$
Coûts variables	Intrants et énergie	3375 \$	3594 \$	3813 \$	4031 \$	4250 \$	4469 \$	4688 \$
Coût main-d'œuvre	0,75 h/m ² à 18 \$/heure	3375 \$	3375 \$	3375 \$	3375 \$	3375 \$	3375 \$	3375 \$
Marge sur coûts directs	\$/serre	12 488\$	12 269\$	12 050\$	11 831\$	11 613\$	11394\$	11 175\$
	% revenus bruts	65%	64%	63%	62%	60%	59%	58%

- La production d'épinards, en réalisant un rendement de 3,42 kg/m², représente un potentiel de revenu brut total d'un peu plus de 19 000\$ pour une serre complète.
- Avec un coût du propane à 0,60 \$/litre, la marge sur coûts variables est estimée à près de 12 500\$ soit 65% du revenu brut.
- L'impact d'une hausse de 20 cents/litre semble relativement mince en \$, toutefois, on voit que l'impact sur le % de marge est important (passage de 65% à 60 % de marge sur coûts directs).
- On note qu'avec les niveaux de prix et de rendements prévus, les productions de climat frais représentent un potentiel de marge intéressant (diversification des revenus, obtention de revenus en saison froide, optimisation de l'utilisation de la serre).
- Il faut garder en tête que l'entreprise doit aussi couvrir ses coûts fixes pour la serre et pour ses coûts fixes généraux ; autrement dit, les marges sur coûts variables générées par les cultures doivent servir à couvrir ces autres dépenses.

Impact de la fluctuation du coût du travail

Dans le cas de la serre froide où l'on utilise des couvertures flottantes de façon quotidienne, le salaire horaire aura un impact important sur l'évolution de la marge sur les coûts directs. Le tableau 9 présente une analyse de sensibilité afin d'étudier l'effet du salaire horaire sur la marge sur coût direct pour une production d'épinard dans une serre froide de 280 m² (250m² utiles). Encore une fois ici la moyenne des rendements en serre froide pour les six implantations de l'INAB a été utilisée afin d'estimer les revenus bruts. Les charges sociales et avantages sont inclus dans le salaire horaire présenté. Le coût de main d'œuvre inclut la production et la gestion des couvertures flottantes ainsi que la mise en marché. On constate un revenu brut de l'ordre de 17 000\$, un peu plus faible que la serre 5°C. Le coût du travail représente près de 4 250 \$ dans le cas d'un salaire horaire de 15\$/h et est estimé à près de 6000 \$ pour un taux horaire de 21 \$/h. Au final, les marges sur coûts directs sont relativement proches de celles obtenues avec le chauffage minimal. Selon les coûts du combustible et les coûts de salaire, l'une des deux régies peut devenir plus avantageuse que l'autre.

Tableau 9. Ventilation des coûts et évolution de la marge sur coûts directs pour une serre froide d'épinards (250 m² utiles), selon le coût du travail

		Salaire horaire (\$/h)						
		15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00	21,00
Revenus bruts	3,02 kg/m ² à 22,5 \$/kg	16 988 \$	16 988 \$	16 988 \$	16 988 \$	16 988 \$	16 988 \$	16 988 \$
Coûts variables	Intrants et énergie	985 \$	985 \$	985 \$	985 \$	985 \$	985 \$	985 \$
Coût main-d'œuvre	1,18 h/m ²	4254 \$	4538\$	4821\$	5105\$	5388\$	5672\$	5955\$
Marge sur coûts variables	\$/serre	11 749 \$	11465 \$	11181\$	10898 \$	10614\$	10331\$	10047\$
	% revenus bruts	69%	67%	66%	64%	62%	61%	59%

Plusieurs aspects sont à prendre en compte lors de l'analyse économique en lien avec le temps de travail. Spécifiquement pour la manutention des couvertures flottantes à l'automne et l'hiver, la disponibilité de la main d'œuvre ainsi que le temps de déplacement jusqu'à la serre (par ex. lorsque le producteur n'habite pas sur place) auront un impact important sur le coût du temps de travail. Plusieurs producteurs habitant sur la ferme vont s'occuper eux même de la manutention des bâches, sans le comptabiliser dans un salaire horaire, ce qui affecte aussi l'interprétation économique de ce scénario de gestion climatique. Il serait aussi intéressant d'évaluer l'effet sur le

rendement d'une gestion moins intensive des couvertures flottantes pour des cultures résistantes au gel comme l'épinard.

Principaux constats – résultats des fermes partenaires

Cette section présente un résumé des données économiques recueillies en entreprise. Les observations détaillées figurent en annexe 3.

Prix de vente des légumes

- Il existe des différences importantes selon la période, selon la région et selon le canal de commercialisation et le format de vente ;
- Une stratégie de prix unique est parfois appliquée, mais cela semble être moins fréquent.
- Les prix de vente au détail indiqués pour les légumes feuilles varient entre 18\$ et 30\$/kg, et ils sont plus généralement compris entre 20 \$ et 25\$/kg;
- Pour les prix aux grossistes, les prix indiqués sont compris entre 17\$ et 25\$/kg.

Temps de travail

- À l'exception d'une récolte mécanisée avec récolteuse, le temps de travail pour la saison de production est généralement entre 0,6 et 0,8 h/m², incluant le volet production et le volet post-récolte et livraison;
- Le temps de production est environ équivalent au temps de post-récolte;
- Cela représente environ 200 heures des semis à la récolte (septembre à avril) pour une serre de 280 m² (30 pi x100 pi).

Coût du chauffage des serres

- L'estimation du coût de chauffage est généralement ardue en entreprise en raison de la présence de multiples systèmes de chauffage, de la fluctuation des coûts de combustible et de l'usage du chauffage pour plusieurs unités de production voir même pour des bâtiments ou résidence;
- Toutefois, pour un chauffage minimal de serre (0-5°C) sur l'ensemble de l'automne et de l'hiver, on peut retenir un ordre de grandeur de 5\$/m² et plus;
- Avec les rendements et prix de vente en vigueur, ce poste budgétaire peut facilement représenter plus de 10 % du revenu brut;
- Les entreprises cherchent à minimiser leur coût de chauffage et leur consommation de combustibles en utilisant des stratégies variées :
 - Utilisation d'énergie alternative (biomasse, électricité) ;
 - Adaptation de la consigne de chauffage en fonction de la luminosité et donc du potentiel de croissance;
 - Consigne de température au strict minimum (ex. 0°C).

Conclusion

L'analyse économique de certains aspects en lien avec la régie climatique a permis d'estimer un coût de chauffage de 4\$/m² pour une production automnale et de 11\$/m² pour la totalité de la saison froide (mi-avril), pour une consigne de chauffage à 5°C, des consignes de ventilation décrites dans les sections précédentes et un coût du propane à 0,628\$/L. En comparaison, le coût associé à l'utilisation intensive de couvertures flottantes en serre froide s'élève à 4,2\$/m² pour une production automnale et 10,2\$/m² pour l'ensemble de la saison, en considérant un coût horaire de 18\$/h et un temps moyen de 15 minutes par jour.

La dépense associée à la gestion climatique est donc non-négligeable, même dans le cas d'une régie 'minimale' avec une consigne entre 0 et 5°C. Le cas du chauffage minimal est aussi sujet à d'importantes variations en fonction du prix d'achat des combustibles (propane, copeaux de bois). Des stratégies de réduction des coûts de chauffage sont alors souvent déployées par les fermes et peuvent être avantageuses. La modulation des coûts de chauffage en fonction du potentiel de croissance (par ex. luminosité) est une question qui devra être étudiée plus amplement dans de prochains projets.

Malgré que le coût du chauffage représente une dépense importante, les essais réalisés indiquent que le plus souvent, pour les épinards, la laitue et la roquette, les gains de rendements obtenus avec le chauffage minimal permettent de surpasser les coûts additionnels associés au chauffage, par rapport à une régie sans chauffage mais avec couvertures flottantes. Cela s'explique, entre autres, par le prix de ventes au détail de ces produits qui est relativement élevé. Le chauffage minimal permet en effet d'obtenir des gains marginaux effectifs dans une grande partie des combinaisons, date d'implantation x culture, qui ont été étudiées. En considérant toutes les hypothèses de travail décrites précédemment et associées à la régie climatique en serre 5°C ou en serre froide, on peut donc conclure que la régie climatique avec chauffage minimal est potentiellement la plus avantageuse d'un point de vue économique. Il est important de considérer que dans le cas où une automatisation de la manutention des couvertures flottantes seraient possible, le portrait économique de cette technique serait plus avantageux qu'il ne l'est actuellement.

Des études complémentaires sont à réaliser afin de préciser les observations de ce premier projet et afin de nuancer les résultats en fonction d'un calendrier d'implantation plus étendu, de différentes consignes et seuils de chauffage et ventilation, et d'autres facteurs.

RÉFÉRENCES

Amani, M., Foroushani, S., Sultan, M., & Bahrami, M. 2020. Comprehensive review on dehumidification strategies for agricultural greenhouse applications. *Applied Thermal Engineering*, 181, 115979.

Bartok, J. 2013. Plastic greenhouse film update. Fact sheet. University of Massachusetts Amherst. Disponible sur: <https://ag.umass.edu/greenhouse-floriculture/fact-sheets/plastic-greenhouse-film-update>

Champagne, B. 2021. Gestion de la température et de l'humidité en serre froide ou chauffée minimalement. Présentation. Webinaire CETAB+ (11 février 2021).

CRAAQ. 2021. Légumes de serre- Serre- coûts de construction -septembre 2021. AGDEX 731/290. 3 pages.

CRAAQ. 2021. Références économiques -Légumes de serre – Énergie – Coût des sources d'énergie. AGDEX 760/821. 4 pages

Glenn, P. E. 1984. Seasonal effects of shading on growth of greenhouse lettuce and spinach. *Scientia Horticulturae*, 24, 231–239.

Guimont, S., Villeneuve, C., Martin, Y., Leblanc, J., Legault, G., Le Mat, A. et Taillon, P.A. 2020. *Guide de production : Poivron et tomate biologiques sous abris*. Club Bio-Action et MAPAQ. Format PDF gratuit sur le site du CRAAQ.

Thériault, J. 2022. La gestion de l'humidité en serre minimalement chauffée et non-chauffée. Présentation webinaire CETAB+ (24 février 2022). Disponible sur : [https://www.youtube.com/watch?v=xOwtlSNG0Yw&t=5469s&ab_channel=Centred%27expertise enagriculturebiologiqueetdeproximit%C3%A9](https://www.youtube.com/watch?v=xOwtlSNG0Yw&t=5469s&ab_channel=Centred%27expertise%20enagriculturebiologiqueetdeproximit%C3%A9)

Annexe 1 . Aspects économiques – détails par culture

Serre 5°C

Le coût du chauffage en fonction de la culture dans la serre 5°C est présenté au tableau 10. La variation du coût de chauffage est reliée au nombre de jours de croissance de la culture, l'épinard étant la culture qui est restée le plus longtemps dans les serres. La marge sur revenu brut a été calculée en considérant la moyenne du coût de chauffage, ainsi que le rendement moyen par culture obtenue dans la serre 5°C (données présentées dans la *fiche culture*) et le prix médian obtenu par les producteurs pour la vente directe et indirecte (données présentées dans la section *Résultats des fermes partenaires*).

On constate donc que pour l'épinard, le coût du chauffage représente 14 % des revenus bruts estimés pour les épinards, en considérant un rendement moyen de 3,42 kg/m² et un prix de vente de 22,5 \$/kg.

Le bok choy est la culture qui présente les coûts de chauffage les plus faibles en \$/m², avec un coût moyen de 1.6 \$/m² pour l'ensemble des implantations. Cela est en raison de sa rapidité de croissance et de la récolte unique. Ce coût représente en moyenne seulement 4% des revenus bruts, ce qui est relativement bas.

Pour la laitue, on constate une augmentation du coût de chauffage pour les implantations plus tardives. Les coûts au m² sont compris entre 6 et 7\$/m² pour les 2 premières implantations, tandis qu'il est supérieur à 11\$/m² pour les dates plus tardives. Le coût devient alors semblable à celui obtenu pour les épinards. Le coût moyen de chauffage pour l'ensemble des implantations est estimé à 9,3 \$/m² ce qui représente 16 % des revenus bruts ; on note que c'est le pourcentage le plus élevé parmi les 4 cultures à l'étude, pour la régie en serre à chauffage minimal.

La roquette a des coûts de chauffage plus faibles que l'épinard et la laitue, en raison de sa vitesse de croissance plus rapide, mais aussi parce que les récoltes se terminent après la quatrième coupe (parfois seulement deux ou trois sur certaines entreprises), contrairement à l'épinard. On constate tout de même une augmentation du coût de chauffage avec les récoltes tardives, pour lesquelles la période de croissance s'est étirée. Le coût du chauffage représente 11 % des revenus bruts de cette culture. Les coûts de chauffage pour les 2 premières dates d'implantation, sont de 4,5 \$/m² et 4,9 \$/m², ce sont des valeurs plus basses que pour les épinards et la laitue. Pour l'implantation du 4 octobre, le coût de chauffage est nettement inférieur à ces mêmes cultures. Pour les implantations suivantes, le coût de chauffage en \$/m² devient plus élevé (8,5\$/m² et 9\$/m²) tout en étant plus faible que pour la laitue et l'épinard, qui se tiennent à 11\$/m² pour ces implantations.

À titre de comparaison, pour la tomate hybride en serre chauffée d'avril à octobre, le budget de chauffage au propane est de 31 \$/m² et il représente 22% des revenus bruts (Guimont et al. 2020).

Tableau 10. Coût du chauffage en serre 5°C, par culture et par implantation

Implantation	Épinard			Laitue			Roquette			Bok choy		
	Nb jr. serre ¹	Nb de coupes	Coût du chauffage (\$/m ²)	Nb jr. serre	Nb de coupes	Coût du chauffage (\$/m ²)	Nb jr. serre	Nb de coupes	Coût du chauffage (\$/m ²)	Nb jr. serre	Nb de coupes	Coût du chauffage (\$/m ²)
14 sept.	209	5	11,0\$	209	3	6,5\$	118	4	4,9\$	31	1	-\$
24 sept.	199	5	11,0\$	199	3	6,8\$	104	4	4,5\$	38	1	0,3\$
4 oct.	196	5	11,1\$	196	2	11,1\$	106	4	6,0\$	41	1	0,8\$
14 oct.	179	4	11,0\$	187	2	11,1\$	123	4	8,5\$	53	1	2,3\$
25 oct.	169	4	10,9\$	177	2	11,0\$	120	4	9,0\$	78	1	4,9\$
Coût chauffage 5C/ revenu brut²	14%			16%			11%			4%		

¹Nb jr serre : le nombre de jour de croissance de la culture, de la date d'implantation à la date de la dernière récolte

²Les revenus bruts moyens considérés sont issus des données de rendement (voir *fiche culture*) :

Épinard : rdt moyen 3,42 kg/m² et prix de vente médian de 22.5 \$/kg

Bok choy : rdt moyen : 4,4 kg/m² et prix de vente médian de 10\$/kg

Laitue : rdt moyen 2,26 kg/m² et prix de vente médian 25\$/ kg

Roquette : rdt moyen 2,46 kg/m² et prix de vente médian 25\$/kg

Serre froide

Le coût de la gestion des couvertures flottantes en serre froide en fonction de la culture et de la date d'implantation est présenté au tableau 11. Le coût associé à la manutention a été calculé de la façon suivante : nb jrs d'occupation de la culture dans la serre (du semis à la dernière récolte) x 15 min./jr (pour la serre au complet) x 18\$/h. Le coût a été rapporté en \$/m² (superficie totale 224 m²). Le coût d'achat des couvertures flottantes de type P30 a aussi été inclus, en considérant une durée de vie utile de 3 ans (0,94\$/m²).

Encore une fois, le coût associé à la gestion du climat est souvent corrélé à la période de croissance plus ou moins longue des cultures. Pour l'épinard, on constate que le coût de la gestion thermique obtenu avec les critères utilisés, est inférieur au coût en serre minimalement chauffée, pour chaque implantation et pour la valeur moyenne. Avec un rendement moyen de 3 kg/m² et un prix médian de 22,5 \$/kg, le coût de la gestion thermique représente 7% des revenus bruts estimés. Pour la serre minimalement chauffée, on obtenait un pourcentage de 14%.

Le coût de chauffage de la première implantation dans la laitue reflète la courte période de croissance, les parcelles ayant dues être détruites prématurément en raison de maladie. Les valeurs obtenues pour les autres dates d'implantation se situent entre 4,2\$/m² et 4,5\$/m² ; ces coûts sont inférieurs au coût de chauffage en serre minimalement chauffée. Le coût de la gestion thermique représente 8% des revenus bruts estimés pour cette culture ; ce pourcentage est la moitié de celui observé dans le cas de la serre minimalement chauffée.

Dans le cas du bok choï, le coût augmente avec des implantations plus tardives. Pour les premières implantations le coût est estimé à 0,9\$/m², puis celui-ci passe à 3,25\$/m² pour l'implantation la plus tardive. On note aussi que ces coûts sont plus élevés que le coût estimé pour la régie en serre minimalement chauffée. Le coût en % des revenus bruts de 5 % est légèrement plus élevé que pour la régie en serre minimalement chauffée.

Après le bok choy, la roquette est la deuxième culture ayant les coûts de chauffage les plus faibles, toujours en raison de la période de croissance. Les coûts selon la date d'implantation sont compris entre 1,7 \$/m² et 4,1 \$/m² pour le coût de la gestion thermique, avec une moyenne à 3,04\$/m² pour la moyenne des implantations. Avec un rendement moyen de 2,18 kg/m² et un prix médian de 25\$/kg, la gestion climatique représente 6% des revenus bruts estimés. Ce pourcentage est près de la moitié de celui estimé pour la régie en serre minimalement chauffée.

Les coûts associés à la gestion thermique en serre froide sont généralement plus bas qu'en serre minimalement chauffée, à l'exception du bok choy ; ce constat est valable avec les hypothèses prises, notamment le prix du propane (0,628 \$/litre), le coût horaire de travail (18\$/heure) et les choix de régie effectués pour les essais. En considérant le fait que la majorité des producteurs ne font pas une gestion quotidienne des couvertures flottantes, cela diminue de beaucoup le coût de manutention des bâches mais a probablement aussi un effet sur le rendement.

Tableau 11. Coût du chauffage en serre froide par culture et par implantation

Implantation	Épinard			Laitue			Roquette			Bok choy		
	Nb jr. serre	Nb de coupes	Coût du chauffage \$/m ²	Nb jr. serre	Nb de coupes	Coût du chauffage \$/m ²	Nb jr. serre	Nb de coupes	Coût du chauffage \$/m ²	Nb jr. serre	Nb de coupes	Coût du chauffage \$/m ²
14 sept.	171	4	4,38 \$	24	1	1,42 \$	38	4	1,70 \$	0	1	0,94 \$
24 sept.	171	4	4,38 \$	166	2	4,27 \$	41	4	1,76 \$	10	1	1,14 \$
4 oct.	179	4	4,54 \$	179	2	4,54 \$	136	4	3,67 \$	48	1	1,90 \$
14 oct.	179	3	4,54 \$	166	1	4,27 \$	152	4	3,99 \$	80	1	2,55 \$
25 oct.	177	3	4,50 \$	164	1	4,23 \$	155	4	4,05 \$	115	1	3,25 \$
Coût gestion thermique/ revenu brut (%)	7%			8%			6%			5%		

¹Les revenus bruts moyens considérés sont issus des données de rendement (voir *fiche culture*) :

Épinard : rdt moyen 3,0 kg/m² et prix de vente médian de 22.5 \$/kg

Bok choy : rdt moyen : 3,72 kg/m² et prix de vente médian de 10\$/kg

Laitue : rdt moyen 1,84 kg/m² et prix de vente médian 25\$/ kg

Roquette : rdt moyen 2,18 kg/m² et prix de vente médian 25\$/kg

²Parcelle détruite prématurément pour cause de maladie (voir *fiche culture*)

Annexe 2. Suite analyse des gains marginaux

Tableau 12. Gains marginaux comparatifs (\$/m²) entre la serre 5°C et la serre froide, selon les cultures et les dates d'implantation en 2021-22

Implantation	Épinard	Laitue	Roquette	Bok choy	Moyenne 4 cultures
14 sept.	0,1 \$	9,9 \$	19,3 \$	2,9 \$	8,1 \$
24 sept.	(8,9 \$)	42,5 \$	12,3 \$	1,8 \$	11,9 \$
4 oct.	4,7 \$	(21,5 \$)	(14,9 \$)	0,1 \$	(7,9 \$)
14 oct.	16,1 \$	3,2 \$	3,0 \$	7,3 \$	7,4 \$
25 oct.	0,3 \$	(9,3 \$)	(2,5 \$)	23,4 \$	3,0 \$

Note : une valeur positive au niveau du revenu indique un avantage pour la serre 5°C (revenu serre 5°C > revenu serre froide)

Annexe 3. Informations économiques des fermes partenaires

Les fermes partenaires ont contribué à documenter les données économiques pour les 3 aspects suivants :

- Prix de vente des cultures ;
- Temps de travail pour la production et pour la mise en marché ;
- Coût de chauffage ;

Prix de vente

Les prix de vente au détail et en gros obtenus par les fermes partenaires en 21-22 sont présentés au tableau 13. Aucune donnée n'a malheureusement été obtenue pour le bok choy. Les prix de vente sont ceux appliqués à la vente, ou en valeur équivalente dans les paniers. À noter, les prix sont généralement différents, en fonction des cultures, des formats, des canaux de commercialisation et de la période de vente. Dans la plupart des cas, les fermes indiquent une variation dans les prix de vente, avec un prix de marché maximal, minimal et moyen ; mais la stratégie d'un prix fixe sur la saison est aussi appliquée.

Tableau 13. Prix de vente des producteurs partenaires en 21-22

Prix de vente	Épinard	Laitue coupée	Roquette
Vente au détail (\$/kg)	25\$; 26,6\$	18\$; 25\$	30\$
Vente au gros (\$/kg)	23\$	17,6\$; 25\$; 22,5\$	20\$; 25\$

Temps de travail

Les heures ont été détaillées pour les opérations de semis, entretien, récolte, gestion des couvertures flottantes, ainsi que pour le post-récolte incluant le conditionnement et la livraison. Les résultats et constats qui suivent sont présentés en heures de travail par m² de superficie utile (planche + allée).

- Pour la production, le temps de travail se situe de manière générale entre 0,3 h/m² et 0,4 h/m², et ceci, pour les différentes cultures multi-coupes (roquette, laitue, épinard).
- On constate que la mécanisation du mode de récolte a un impact sur le temps de travail requis :
 - Utilisation d'une récolteuse à mesclun ;
 - Coupe, à la main (épinard), au couteau ou au ciseau.

- Pour la mise en marché, les résultats sont moins homogènes. Sur la base des informations fournies, on pourrait toutefois dégager les éléments suivants :
 - Globalement, la mise en marché pour la vente au détail semble prendre autant de temps que la production, soit de 0,3 h à 0,4 h /m² ;
 - La vente en gros réduit le temps de travail post-récolte et les entreprises qui privilégient ce type de commercialisation indiquent des charges de 0,15 à 0,26 h/m²;
 - Une des fermes participantes obtient des heures très basses pour sa commercialisation, ce qui laisse place à réflexion sur les potentiels gains d'efficacité pour ce volet du post-récolte.
- Pour la gestion des couvertures flottantes :
 - Dans le cas des essais à l'INAB, on a estimé une charge de 15 minutes par jour pour chaque jour où la culture est en place ;
 - Pour 2 des fermes partenaires, la gestion des couvertures est réduite au minimum (une pose et une ouverture) ce qui représente une valeur en heures/m² négligeable;
 - Pour une ferme qui a pratiqué une régie quotidienne de couvertures, l'estimation est de 20 minutes par jour par serre ;

Coût de chauffage

La disponibilité des informations et l'analyse des résultats est particulièrement délicate, considérant les éléments suivants :

- Les systèmes de chauffage approvisionnent souvent plusieurs entités sur la ferme ;
- Les systèmes de chauffage peuvent être combinés (bi-énergie) ;
- L'utilisation dans le temps peut être différente (utilisation au printemps vs hiver vs automne) ;
- Le chauffage est aussi prévu pour le démarrage d'autres cultures dans certains cas (semis en fin d'hiver) ;
- Les prix des combustibles varient d'une année sur l'autre, et même plus fréquemment dans le cas du propane, sur la période à l'étude.

Voici quelques données tirées des entreprises :

Ferme des Quatre-Temps :

- Pour la production d'épinards en serre à 3°C avec chauffage du sol à 8°C, le coût en propane estimé est de 0,32\$/m² pour une production uniquement automnale (récolte avant Noël);
- À titre de comparaison, le coût du propane à l'INAB au 20 décembre par m² de serre chauffée à 5°C est estimé à 3,14\$/m².

Ferme Chapeau Melon :

- La serre est chauffée uniquement au printemps pour la salanova, avec une cible à 5°C. Cette régie représente un coût de 0,35\$/m².

Ferme du Coq à l'âne :

- L'entreprise utilise un chauffage à la biomasse, avec une cible à 2°C, pour la production de roquette et de laitue Salanova;
- Le coût d'achat du bois est estimé en moyenne à 4,6 \$/m² pour les 2 années 20/21 et 21/22 à titre de comparaison, les coûts moyens de combustible (propane) à l'INAB sont estimés à 6,6\$/m² (roquette) et 9,3 \$/m² (laitue);
- Le coût de 4,6 \$/m² est uniquement pour l'achat du bois (coût monétaire) ; si on ajoute le coût de débitage, cordage, et alimentation quotidienne de la chaudière (35 heures pour la saison en estimation), le coût devient 6,7 \$/m².

Jardin des funambules :

- Pour l'épinard en serre chauffée (octobre à avril), l'estimation du coût de chauffage est de 5,4 \$/m² ;
- Pour la laitue, le chauffage est bi-énergie (propane et thermopompe électrique), et le chauffage est organisé pour le démarrage des cultures de pleine saison à la mi-février (température de 20°C). Il est difficile d'isoler le chauffage seulement pour la laitue minimalement chauffée dans ce contexte. On estime un coût de chauffage de 7,5 \$/m² de septembre à avril.