

# CONSOMMATION D'ÉNERGIE EN SERRE

## Calcul et exemples de mesures d'efficacité énergétique

Colloque maraîcher en serre 2024  
19 novembre 2024

William Sylvain  
Étudiant à la maîtrise en génie

Codirection Danielle Monfet & Didier Haillot



# Sujets abordés

---

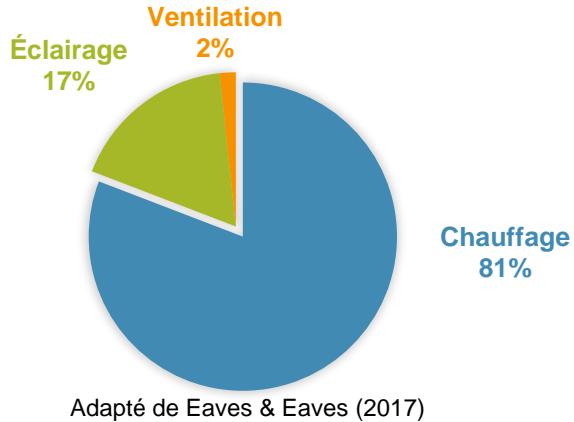
- Contexte
- Calculs du besoin en chauffage
- Aperçu de l'outil de calcul
- Comparaison de mesures
- Perspectives



# Contexte

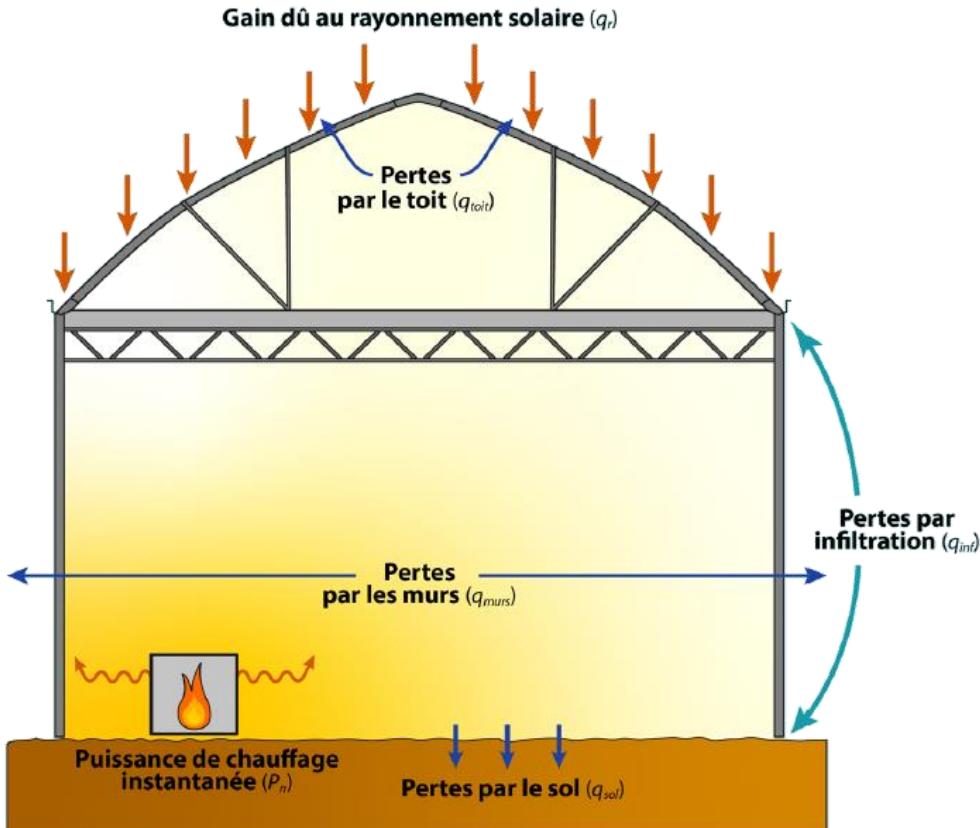
- Les coûts d'énergie représentent entre 15 % et 30 % de l'ensemble des coûts d'une entreprise serricole (Producteur de serre du Québec, 2008).
- Publication de l'outil du CRAAQ : Chauffage d'une serre - Comment calculer la consommation mensuelle d'énergie

Répartition des coûts d'énergie d'une serre de grande taille (plus de 2 000 m<sup>2</sup>)

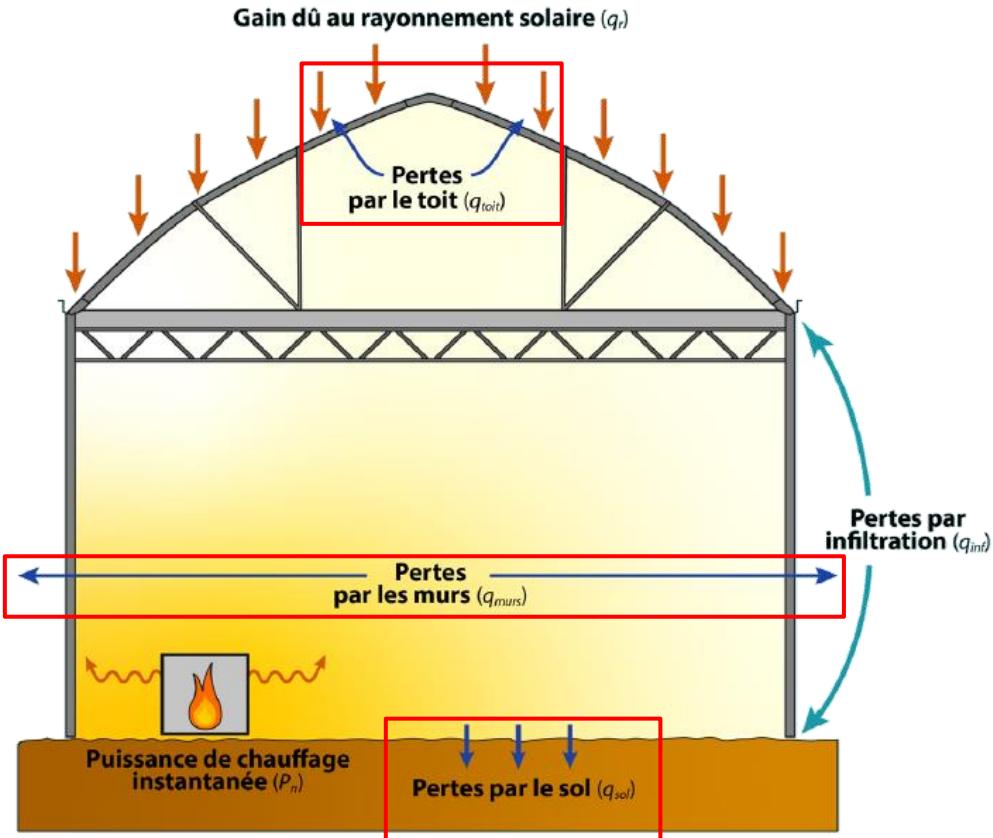


(CRAAQ, 2024)

# Calculs du besoin en chauffage — Bilan thermique



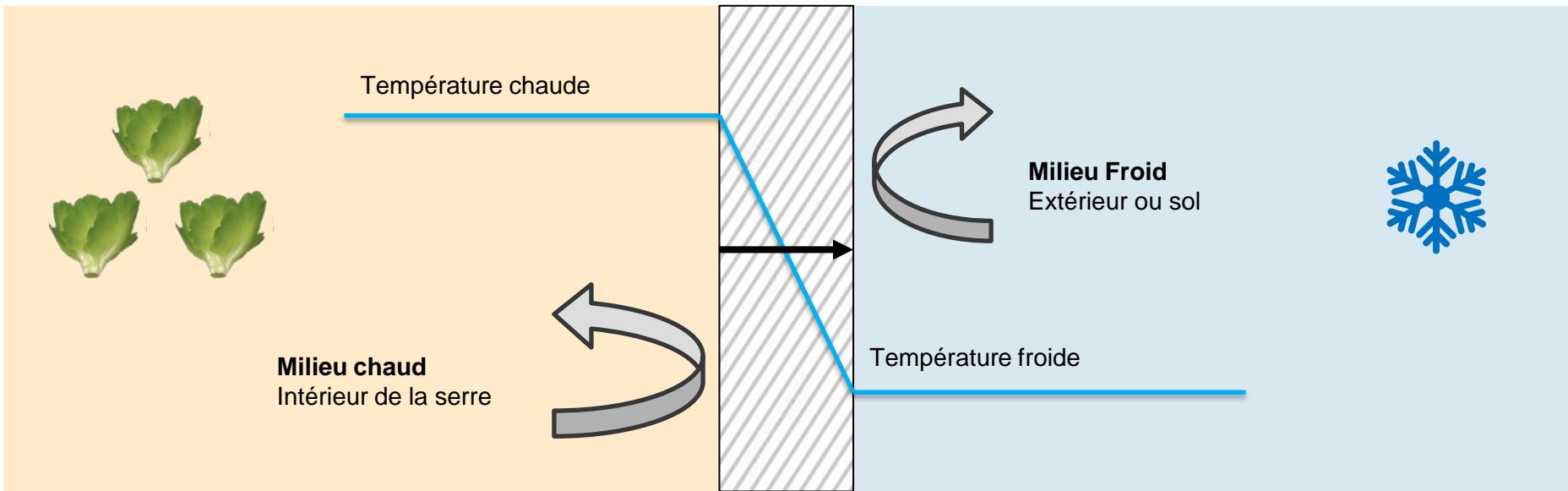
# Calculs du besoin en chauffage — Pertes par l'enveloppe



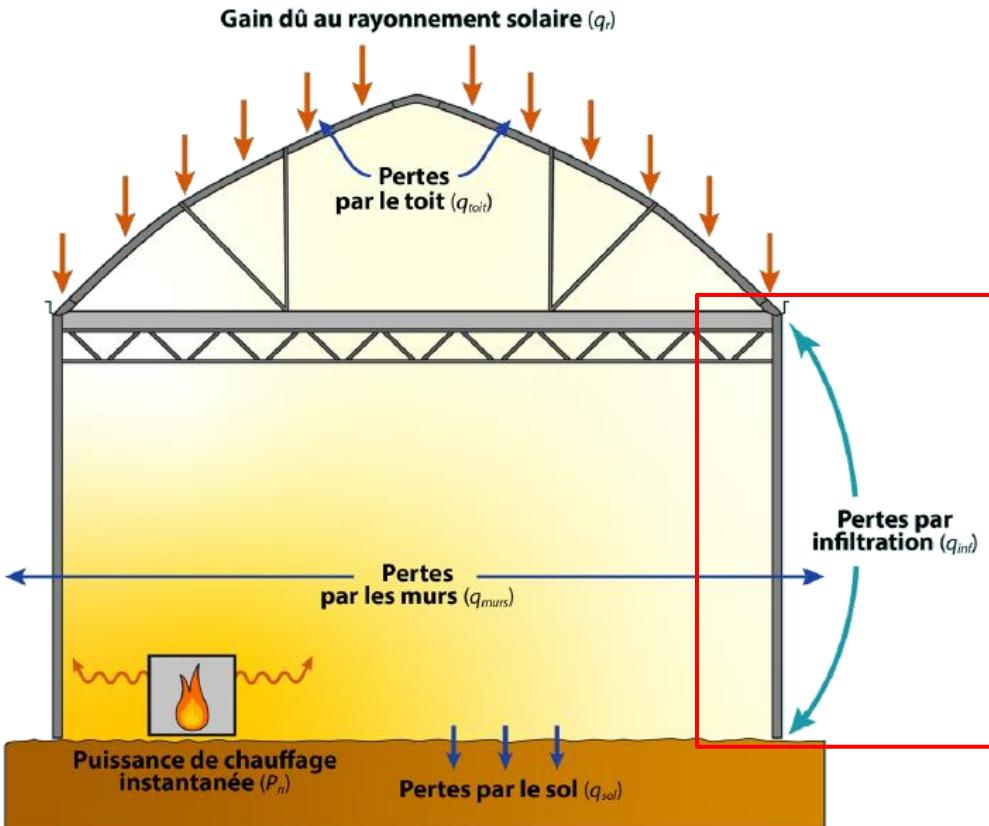
# Calculs du besoin en chauffage — Pertes par l'enveloppe

- Représentent jusqu'à 80% des pertes thermique

**Milieu intermédiaire**  
Revêtement ou Sol



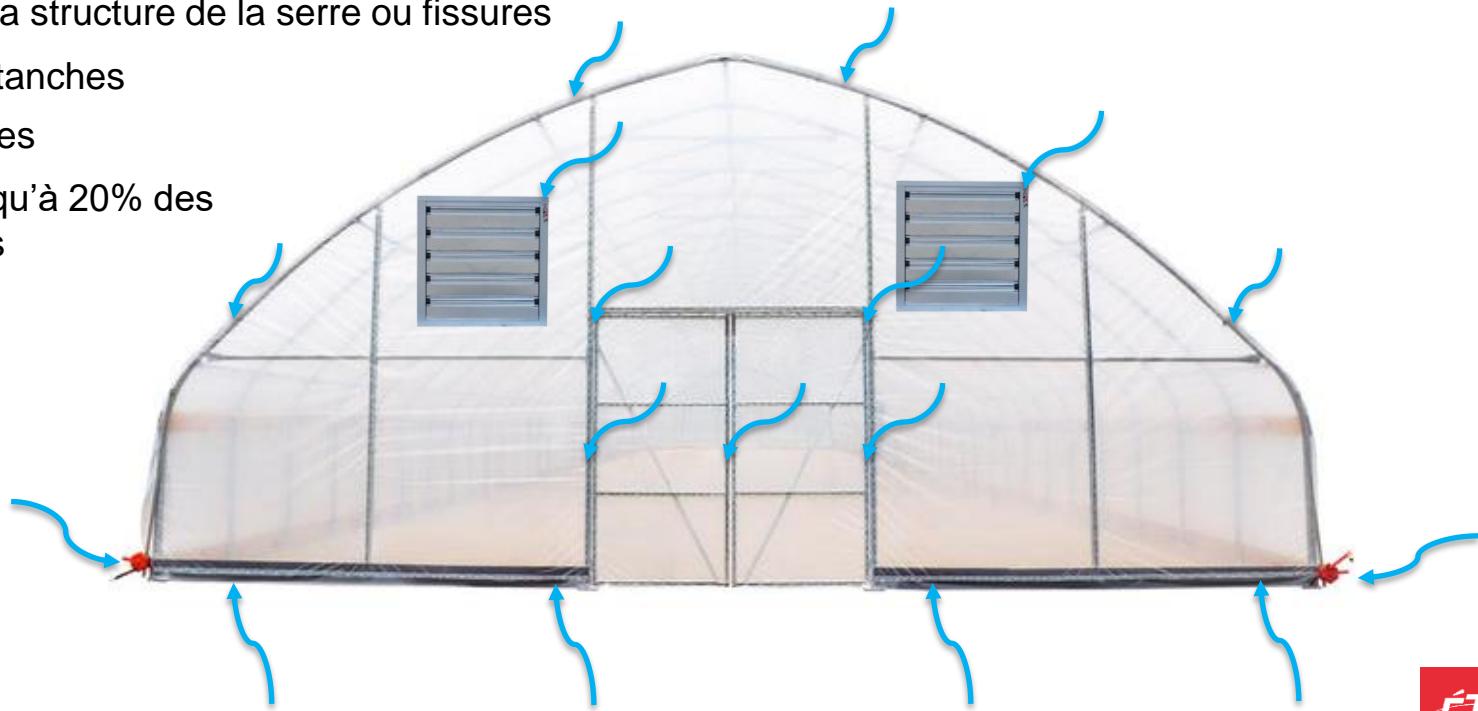
# Calculs du besoin en chauffage — Pertes par infiltration



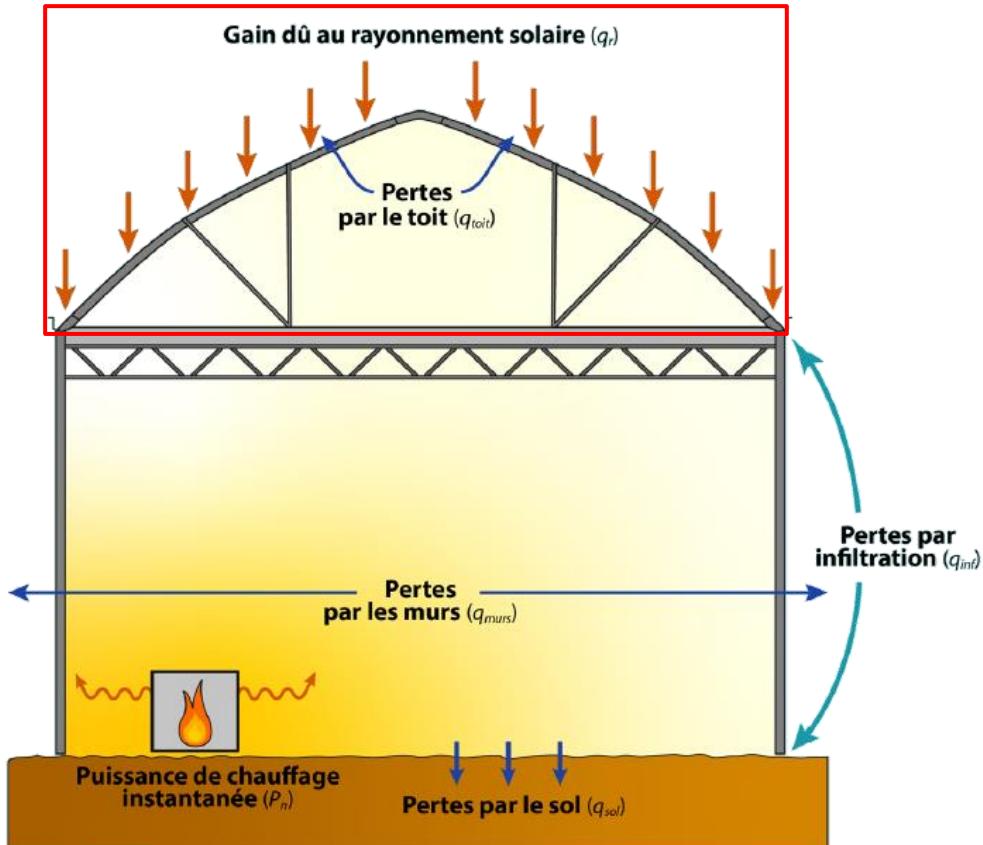
# Calculs du besoin en chauffage — Pertes par infiltration

## Sources d'infiltration

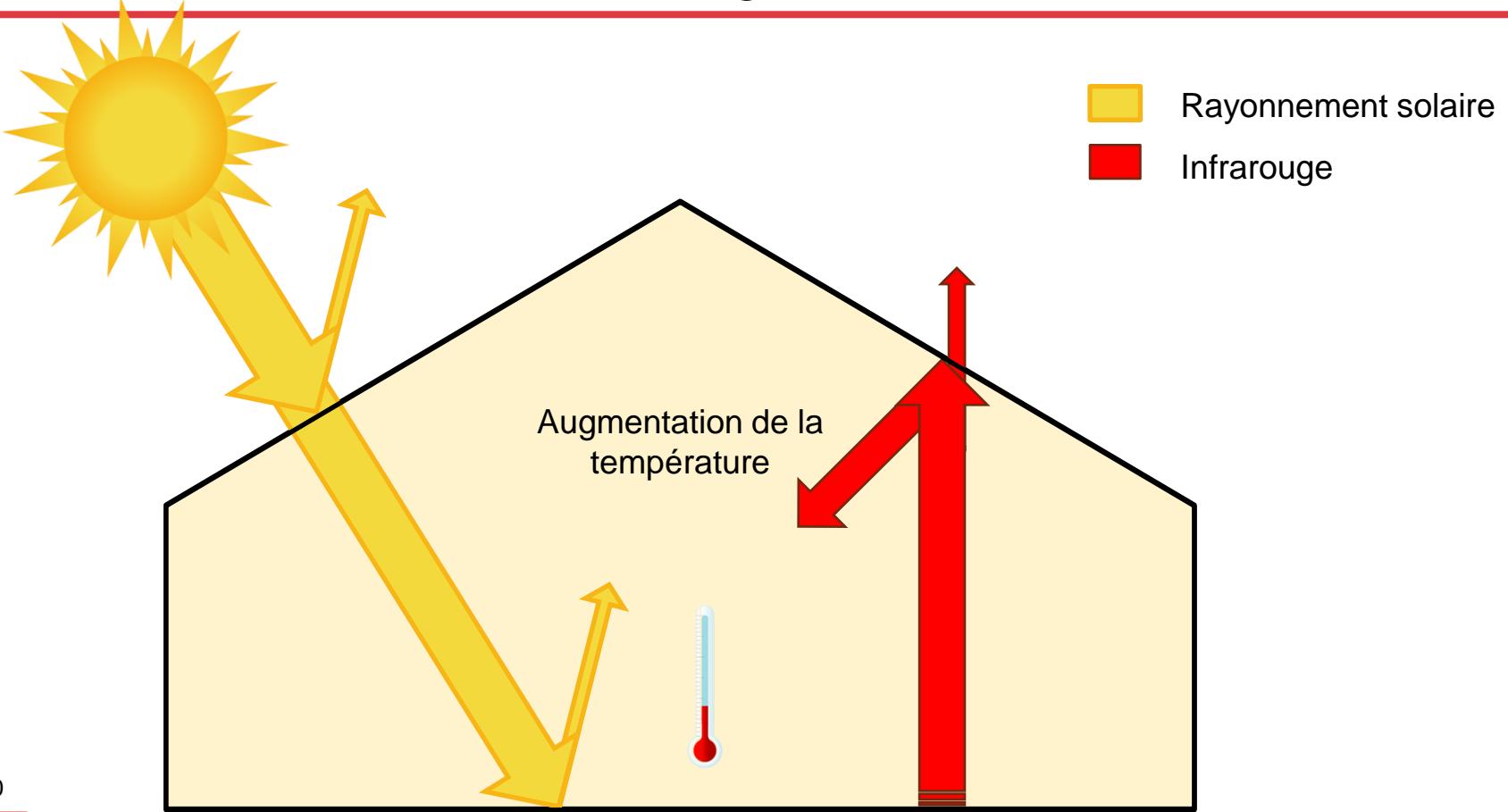
- Points faibles de la structure de la serre ou fissures
- Ouvertures non étanches
- Portes mal ajustées
- Représentent jusqu'à 20% des pertes thermiques



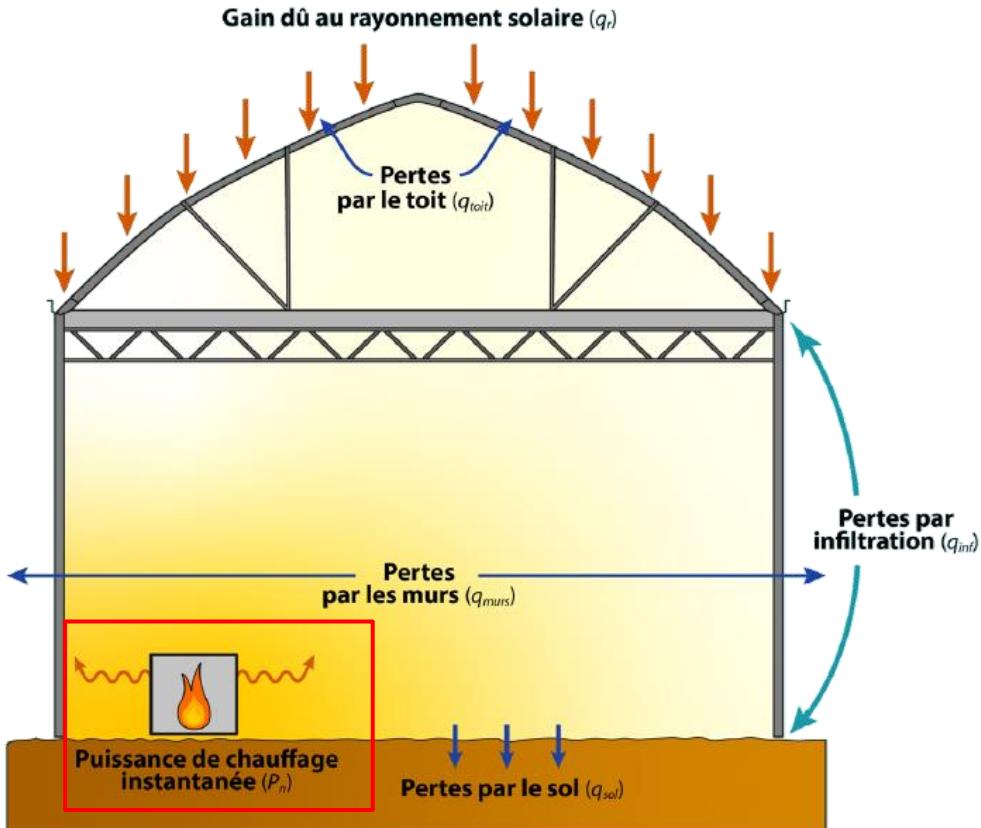
# Calculs du besoin en chauffage — Gain solaire



# Calculs du besoin en chauffage — Gain solaire

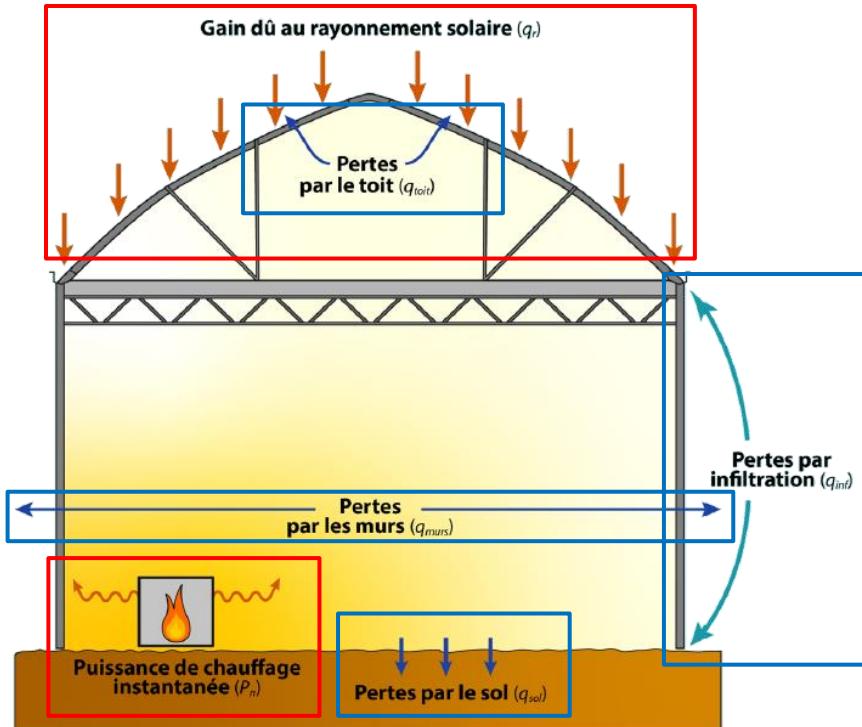


# Calculs du besoin en chauffage — Bilan thermique



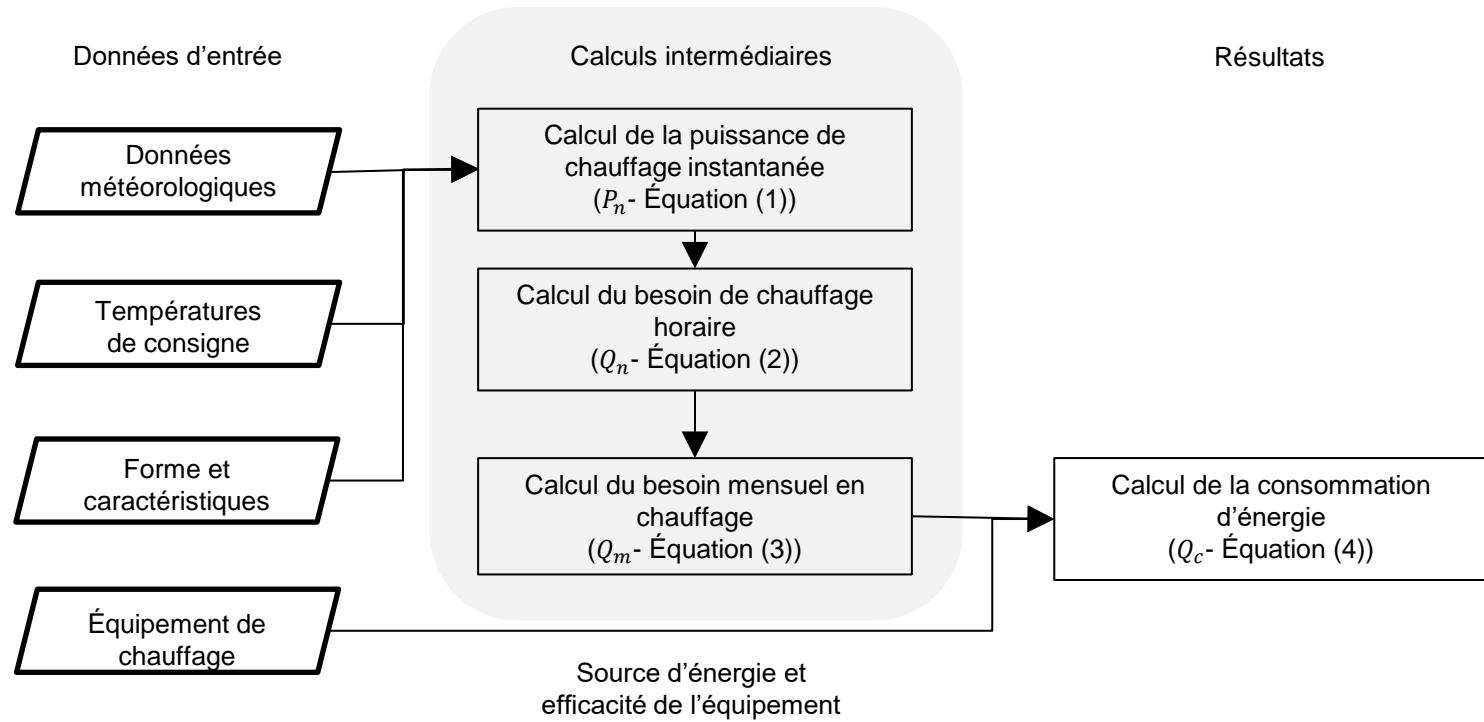
# Calculs du besoin en chauffage — Puissance instantanée

Puissance instantanée de chauffage = Pertes par l'enveloppe + Pertes par infiltration - Gain solaire



# Calculs du besoin en chauffage — Méthode de calcul

**Puissance instantanée de chauffage = Pertes par l'enveloppe + Pertes par infiltration - Gain solaire**



# Aperçu de l'outil de calcul — Données d'entrées

**CHAUFFAGE D'UNE SERRE**

COMMENT CALCULER LA CONSOMMATION MENSUELLE DE COMBUSTIBLE?



**1. Données d'entrées**

<b>1.1 Région</b> QUEBEC INTL A	<b>1.4 Dimensions</b> Largeur d'une chapelle [B] 9,6 m [C] Longueur [C] 80 m Hauteur du muret [R] 0,9 m Hauteur totale du mur [A] 6	<b>1.5 Construction</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Matières de revêtement</th> <th>W/(m<sup>2</sup>K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mur Nord</td> <td>Mur isolé</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>Mur Sud</td> <td>Feuille plastique structurée 8mm</td> <td>3,7</td> </tr> <tr> <td>Mur Est</td> <td>Feuille plastique structurée 8mm</td> <td>3,7</td> </tr> <tr> <td>Mur Ouest</td> <td>Feuille plastique structurée 8mm</td> <td>3,7</td> </tr> <tr> <td>Toit</td> <td>Polyéthylène double, soufflé</td> <td>4,0</td> </tr> <tr> <td>Muret</td> <td>Mur isolé</td> <td>0,5</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Facteur de construction</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Film plastique sur ossature métallique</td> <td>1,02</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Type de périphérie</th> <th>W/(m<sup>2</sup>K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Isolé avec 50mm (2 po) de polystyrène expansé s'étend</td> <td>0,69</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Facteur d'infiltration</th> <th>CAH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Standard</td> <td>1,5</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Coefficient de captage de la radiation solaire</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>60%</td> </tr> </tbody> </table>	Matières de revêtement	W/(m <sup>2</sup> K)	Mur Nord	Mur isolé	0,5	Mur Sud	Feuille plastique structurée 8mm	3,7	Mur Est	Feuille plastique structurée 8mm	3,7	Mur Ouest	Feuille plastique structurée 8mm	3,7	Toit	Polyéthylène double, soufflé	4,0	Muret	Mur isolé	0,5	Facteur de construction		Film plastique sur ossature métallique	1,02	Type de périphérie	W/(m <sup>2</sup> K)	Isolé avec 50mm (2 po) de polystyrène expansé s'étend	0,69	Facteur d'infiltration	CAH	Standard	1,5	Coefficient de captage de la radiation solaire			60%
Matières de revêtement	W/(m <sup>2</sup> K)																																					
Mur Nord	Mur isolé	0,5																																				
Mur Sud	Feuille plastique structurée 8mm	3,7																																				
Mur Est	Feuille plastique structurée 8mm	3,7																																				
Mur Ouest	Feuille plastique structurée 8mm	3,7																																				
Toit	Polyéthylène double, soufflé	4,0																																				
Muret	Mur isolé	0,5																																				
Facteur de construction																																						
Film plastique sur ossature métallique	1,02																																					
Type de périphérie	W/(m <sup>2</sup> K)																																					
Isolé avec 50mm (2 po) de polystyrène expansé s'étend	0,69																																					
Facteur d'infiltration	CAH																																					
Standard	1,5																																					
Coefficient de captage de la radiation solaire																																						
	60%																																					

**2. Données de production**

<b>2.1 Mois d'utilisation</b> <table border="1"> <tr> <td>Janvier</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Février</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Mars</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Avril</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Mai</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Juin</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Juillet</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Août</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Septembre</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Octobre</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Novembre</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Décembre</td> <td>1,00</td> </tr> </table>	Janvier	1,00	Février	1,00	Mars	1,00	Avril	1,00	Mai	1,00	Juin	1,00	Juillet	1,00	Août	1,00	Septembre	1,00	Octobre	1,00	Novembre	1,00	Décembre	1,00	<b>2.2 Énergie</b> <table border="1"> <tr> <td>Énergie utilisée</td> <td>Électricité</td> </tr> <tr> <td>Efficacité de l'équipement de chauffage</td> <td>80%</td> </tr> <tr> <td>Unité de l'énergie</td> <td>kWh</td> </tr> <tr> <td>Facteur de conversion</td> <td>2,78E-04</td> </tr> </table>	Énergie utilisée	Électricité	Efficacité de l'équipement de chauffage	80%	Unité de l'énergie	kWh	Facteur de conversion	2,78E-04
Janvier	1,00																																
Février	1,00																																
Mars	1,00																																
Avril	1,00																																
Mai	1,00																																
Juin	1,00																																
Juillet	1,00																																
Août	1,00																																
Septembre	1,00																																
Octobre	1,00																																
Novembre	1,00																																
Décembre	1,00																																
Énergie utilisée	Électricité																																
Efficacité de l'équipement de chauffage	80%																																
Unité de l'énergie	kWh																																
Facteur de conversion	2,78E-04																																

# Aperçu de l'outil de calcul — Résultats

## 3. Résultats

### 3.1 Coefficient de déperdition par surface au : 3.2 Superficie de la serre

$U_s$   W/(m<sup>2</sup>K)

$A_{sl}$   m<sup>2</sup>

kW

### 3.3 Besoin instantané maximal en chauffage

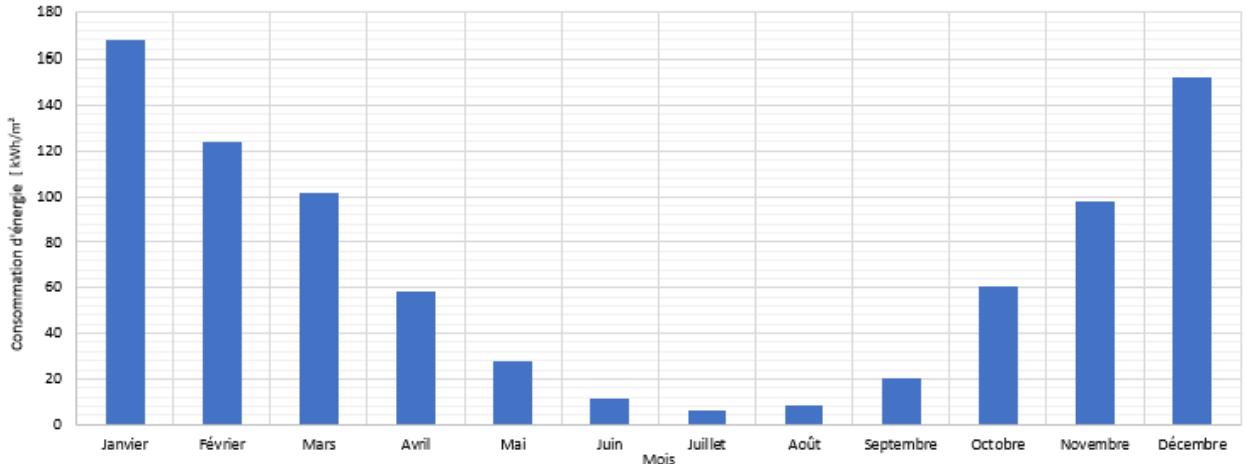
### 3.4 Consommation mensuelle en combustible

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
1160 505	858 968	701 557	402 212	194 489	79 074	41 316	59 401	138 716	417 027	676 222	1054 554	<b>5 784 042</b>

### 3.5 Consommation mensuelle en combustible par unité d'

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
167,90	124,27	101,50	58,19	28,14	11,44	5,98	8,59	20,07	60,33	97,83	152,57	<b>836,81</b>

Consommation mensuelle en combustible par unité de surface



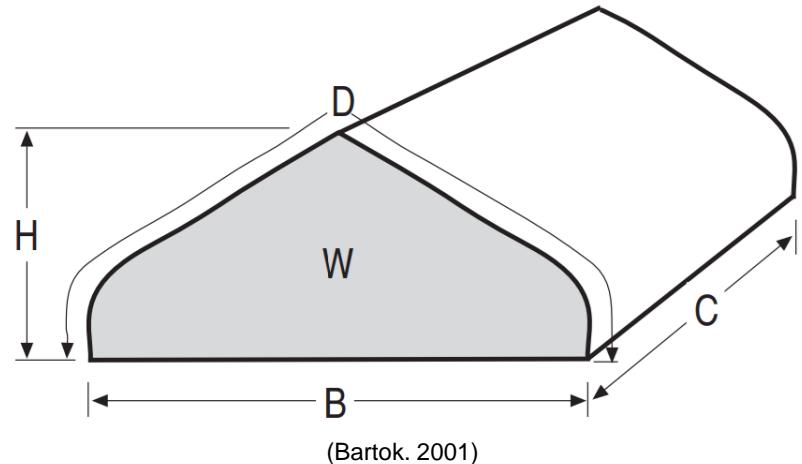
# Comparaison de mesures

- Isolation du périmètre
- Diminution de l'infiltration
- Isolation du mur nord
- Mise à niveau de l'équipement de chauffage
- Modification de la source d'énergie
- Production hivernale minimalement chauffée
- Début de production hâtif (mi-février)



# Comparaison – Description de la serre individuelle de référence

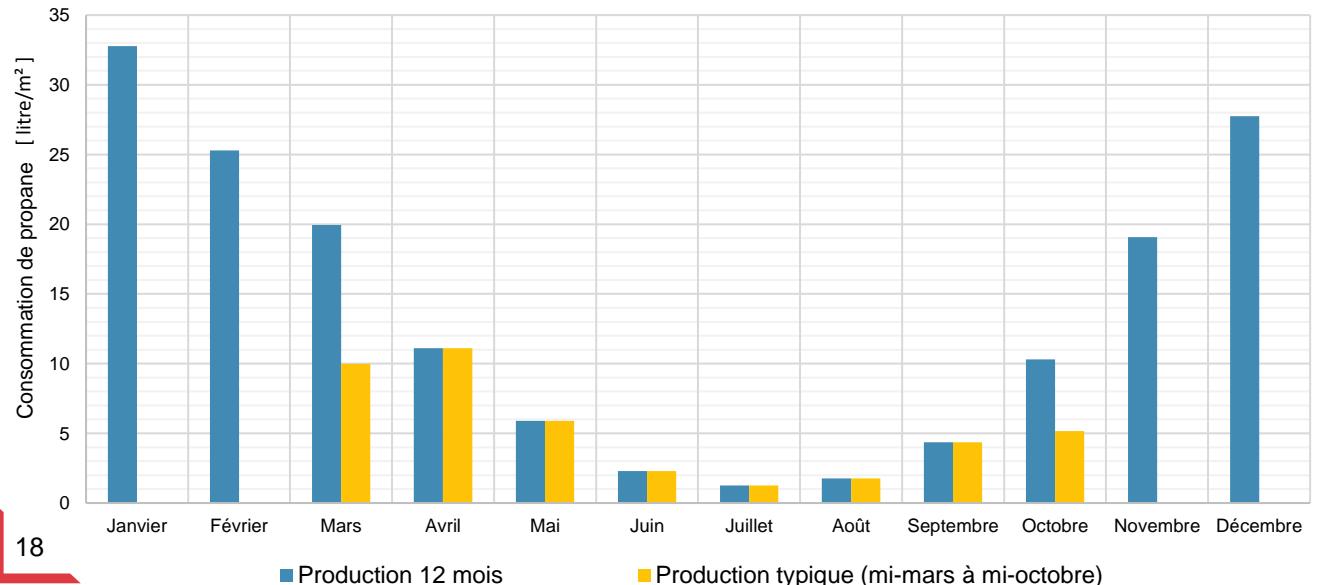
Région	Shawinigan	
Consigne	Jour	20 °C
	Nuit	18 °C
Géométrie	Type de serre	Serre individuelle
	Architecture	Gothique
	Orientation	Nord-sud
Dimensions	Largeur de chapelle	10 m
	Longueur	30 m
	Hauteur	4,8 m
Revêtement	Mur nord	Polyéthylène double
	Mur sud	Polyéthylène double
	Mur est	Polyéthylène double
	Mur ouest	Polyéthylène double
Infiltration [h <sup>-1</sup> ]	1,5	
Mois d'utilisation	-	
Énergie utilisée	Gaz propane	
Efficacité du système	80 %	



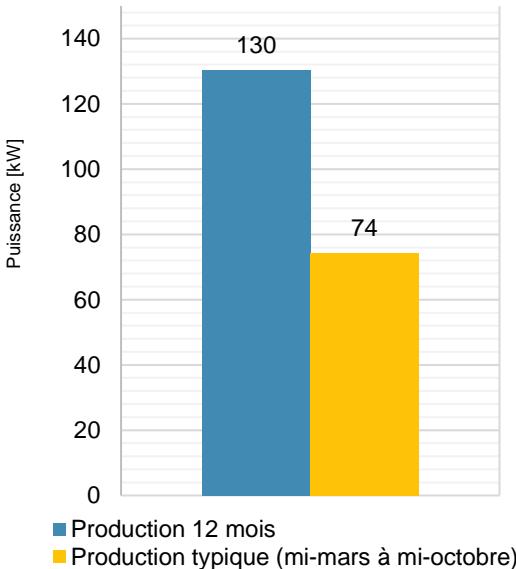
# Comparaison – Serre individuelle de référence

Région	Shawinigan	Revêtement	Mur nord	Polyéthylène double	Infiltration [h <sup>-1</sup> ]	1,5
Consigne [°C]	Jour 20		Mur sud	Polyéthylène double	Mois d'utilisation	-
	Nuit 18		Mur est	Polyéthylène double	Énergie utilisée	Gaz propane
Largeur de chapelle [m]	10		Mur ouest	Polyéthylène double	Efficacité du système [%]	80
Longueur [m]	30					

Consommation mensuelle par unité de surface



Besoin instantané maximal en chauffage



# Comparaison – Isolation du périmètre

## Avantages

- Limite l'entrée d'air froid (étanchéité)
- Augmente l'isolation global de la serre

## Inconvénients

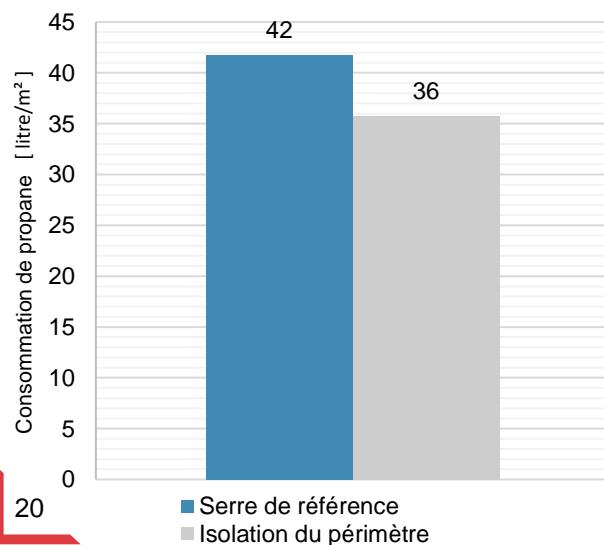
- Nécessite des travaux d'excavation
- Coût \$



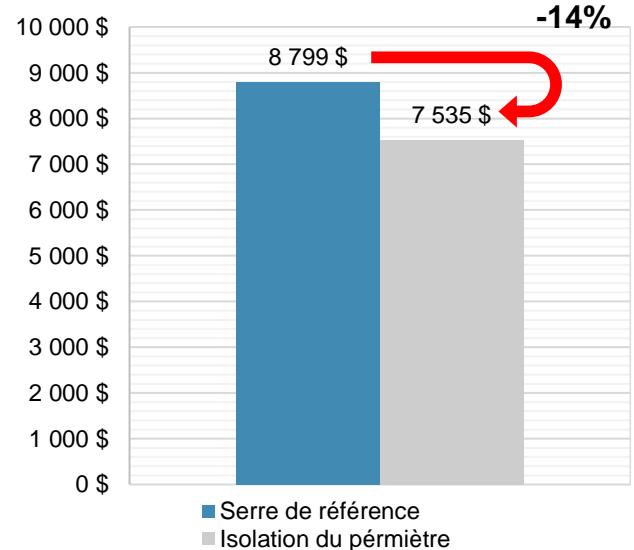
# Comparaison – Isolation du périmètre

Région	Shawinigan	Revêtement	Mur nord	Polyéthylène double	Infiltration [h <sup>-1</sup> ]	<b>0,75</b>
Consigne [°C]	Jour 20 Nuit 18		Mur sud	Polyéthylène double	Mois d'utilisation	Mi-mars à mi-octobre
Largeur de chapelle [m]	10		Mur est	Polyéthylène double	Énergie utilisée	Gaz propane
Longueur [m]	30		Mur ouest	Polyéthylène double	Efficacité du système [%]	80

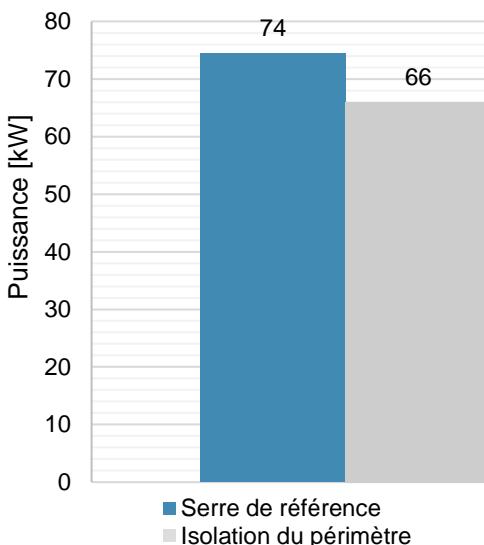
Consommation annuelle par unité de surface



Coût annuel total en chauffage  
(0,702\$/litre)



Besoin instantané maximal en chauffage



# Comparaison – Isolation du mur nord

## Avantages

- Augmentation de l'isolation sans influencer le rayonnement solaire reçu
- Diminution de l'infiltration

## Inconvénients

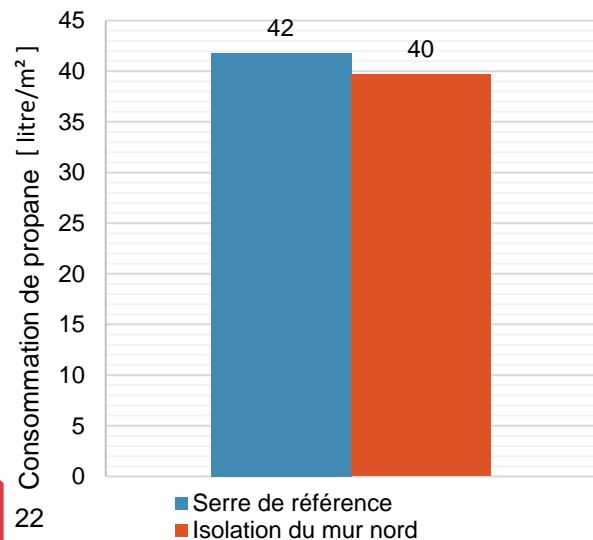
- Peut nécessiter des travaux (\$)
- S'assurer que l'orientation de la serre est adéquate



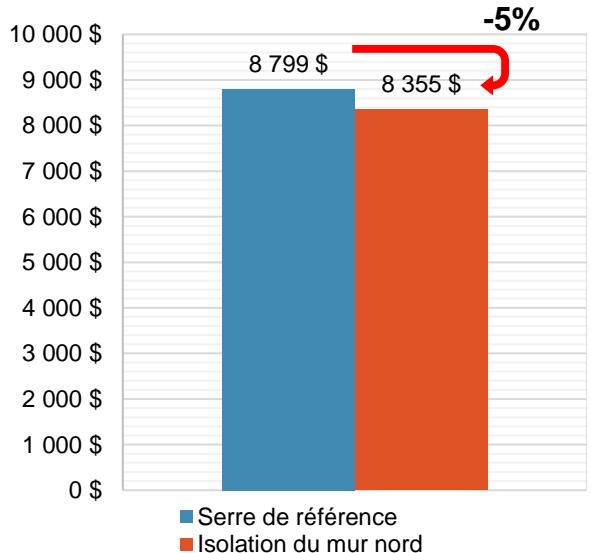
# Comparaison – Isolation du mur nord

Région	Shawinigan	Revêtement	Mur nord	<b>Mur isolé</b>	Infiltration [h <sup>-1</sup> ]	1,5
Consigne [°C]	Jour 20 Nuit 18		Mur sud	Polyéthylène double	Mois d'utilisation	Mi-mars à mi-octobre
Largeur de chapelle [m]	10		Mur est	Polyéthylène double	Énergie utilisée	Gaz propane
Longueur [m]	30		Mur ouest	Polyéthylène double	Efficacité du système [%]	80

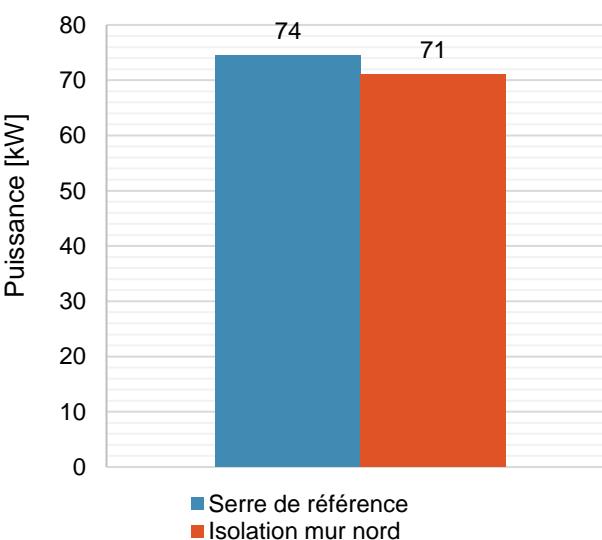
Consommation annuelle par unité de surface



Coût annuel total en chauffage  
(0,702\$/litre)



Besoin instantané maximal en chauffage



# Comparaison – Mise à niveau de l'équipement

## Avantages

- Augmente l'efficacité de l'équipement ( $\downarrow$  combustible)

## Inconvénients

- Nécessite plus d'entretien (\$)

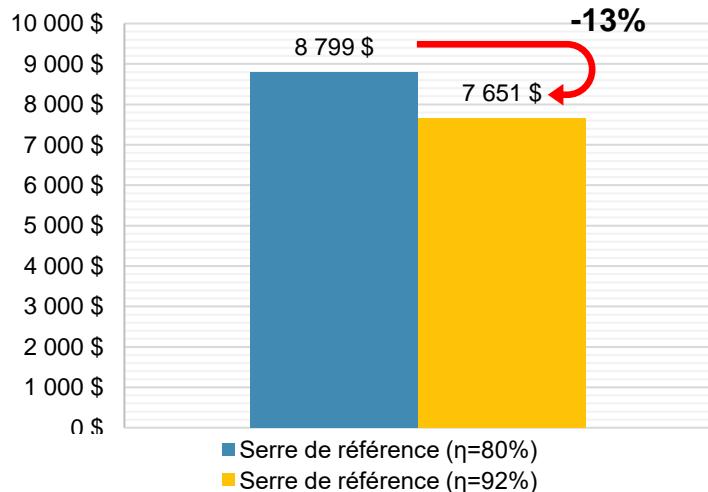
Source d'énergie	Unité de mesure	Efficacité énergétique (%)	
		Typique	Observée
Électricité	kWh	100	
Gaz propane	litre	92	62-98
Gaz naturel	m <sup>3</sup>	92	60-98
Mazout n°2	litre	83	60-92
Bois de chauffage (bois dur)	corde	75	38-80
Granule de bois	tonne	85	85



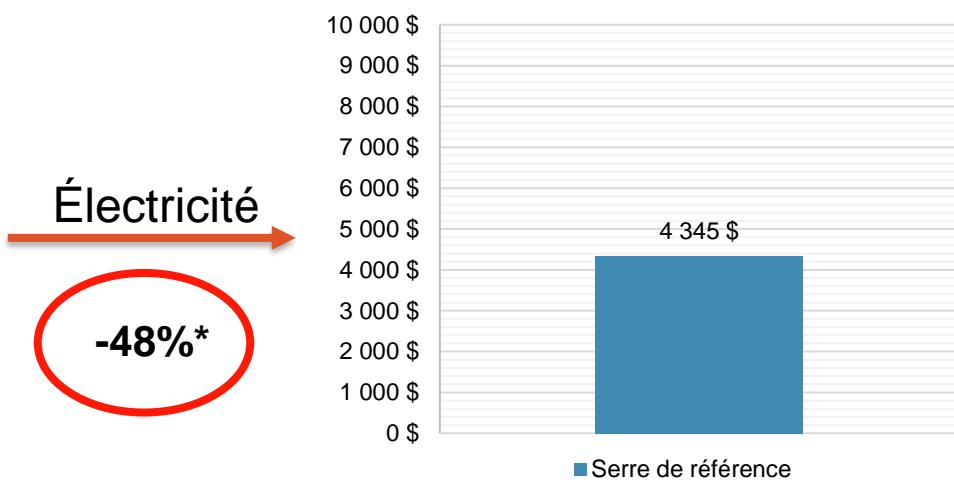
# Comparaison – Mise à niveau de l'équipement

Région	Shawinigan	Revêtement	Mur nord	Polyéthylène double	Infiltration [h <sup>-1</sup> ]	1,5
Consigne [°C]	Jour 20 Nuit 18		Mur sud	Polyéthylène double	Mois d'utilisation	Mi-mars à mi-octobre
Largeur de chapelle [m]	10		Mur est	Polyéthylène double	Énergie utilisée	-
Longueur [m]	30		Mur ouest	Polyéthylène double	Efficacité du système [%]	-

Coût annuel total en chauffage - propane (0,702\$/litre)



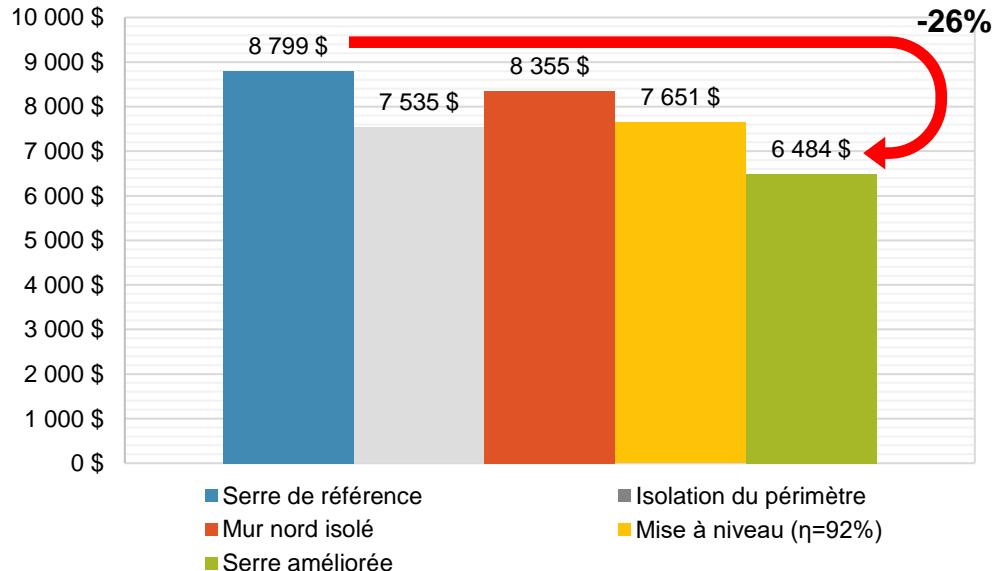
Coût annuel total en chauffage électrique (6,164 ¢/kWh\*)



# Comparaison – Bilan efficacité énergétique

Région	Shawinigan	Mur nord	<b>Mur isolé</b>	Infiltration [h <sup>-1</sup> ]	<b>0,75</b>
Consigne [°C]	Jour	20	Revêtement	Mois d'utilisation	Mi-mars à mi-octobre
	Nuit	18			
Largeur de chapelle [m]	10	Mur est	Polyéthylène double	Énergie utilisée	Gaz propane
Longueur [m]	30	Mur ouest	Polyéthylène double	Efficacité du système [%]	<b>92</b>

Coût annuel total en chauffage - propane (0,702\$/litre)



# Comparaison – Culture hivernale et hâtive

## Avantages

- Ajout d'une période de production supplémentaire
- Peu de coût supplémentaire

## Inconvénients

- Adapter la serre et les méthodes de production

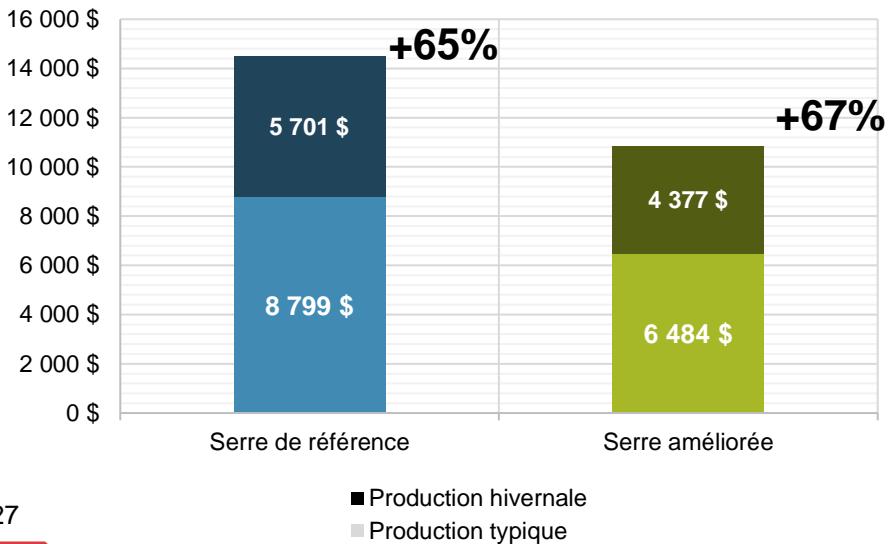


(La Terre De Chez Nous, 2023)

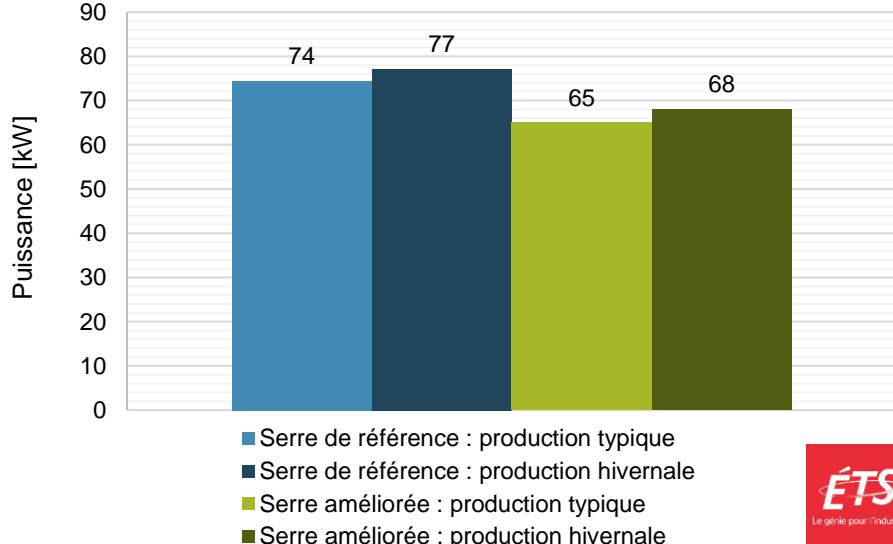
# Comparaison – Culture hivernale

Région	Shawinigan	Revêtement	Mur nord	Polyéthylène double	Infiltration [h <sup>-1</sup> ]	1,5
Consigne [°C]	Jour                    0		Mur sud	Polyéthylène double	Mois d'utilisation	Mi-octobre à mi-mars
	Nuit                    0		Mur est	Polyéthylène double	Énergie utilisée	Gaz propane
Largeur de chapelle [m]	10		Mur ouest	Polyéthylène double	Efficacité du système [%]	80
Longueur [m]	30					

Coût annuel total en chauffage - propane  
 (0,702\$/litre)



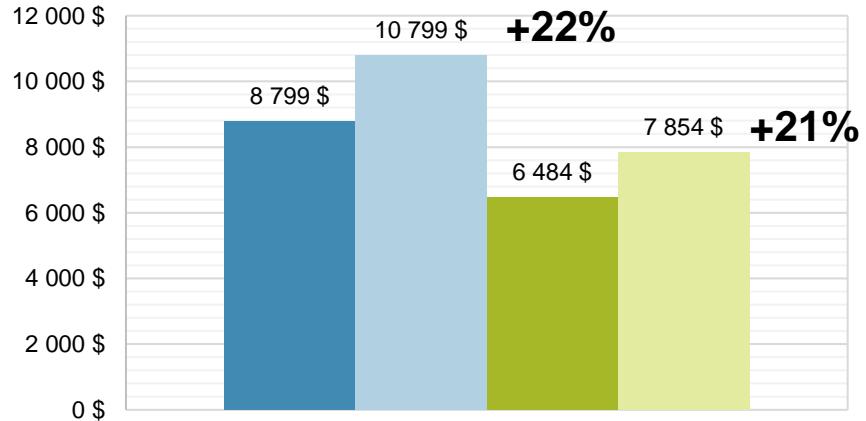
Besoin instantané maximal en chauffage



# Comparaison — Culture hâtive

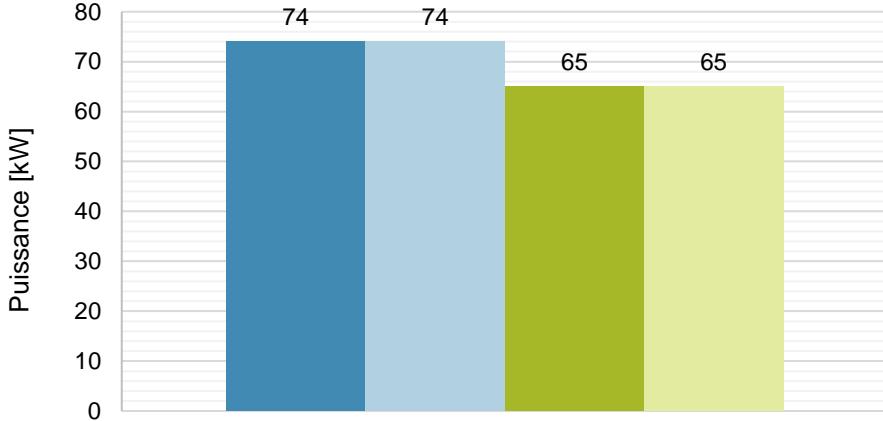
Région	Shawinigan	Revêtement	Mur nord	Polyéthylène double	Infiltration [h <sup>-1</sup> ]	1,5
Consigne [°C]	Jour 20 Nuit 18		Mur sud	Polyéthylène double	Mois d'utilisation	<b>Mi-février à mi-octobre</b>
Largeur de chapelle [m]	10		Mur est	Polyéthylène double	Énergie utilisée	Gaz propane
Longueur [m]	<b>10 → 30</b>		Mur ouest	Polyéthylène double	Efficacité du système [%]	80

Coût annuel total en chauffage - propane  
(0,702\$/litre)



- Serre de référence : production typique
- Serre de référence : production hâtive
- Serre améliorée : production typique
- Serre améliorée : production hâtive

Besoin instantané maximal en chauffage



- Serre de référence : production typique
- Serre de référence : production hâtive
- Serre améliorée : production typique
- Serre améliorée : production hâtive

# Autres mesures d'efficacité énergétique

Stockage passif

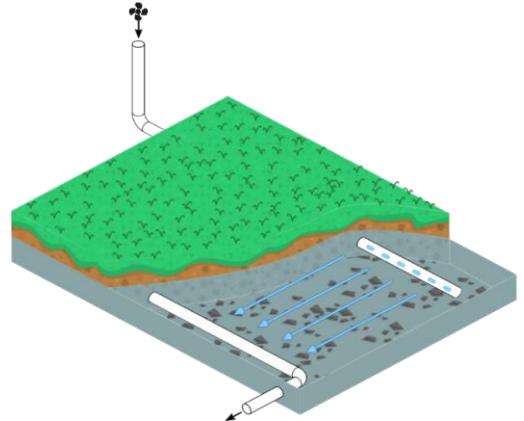


(Serre Bioclimatique. 2018)

Stockage actif



(Piché et al. 2020)



# Perspectives

---

- Faciliter l'évaluation des besoins énergétiques en tenant compte des pertes et gains thermiques.
- Permettre aux productrices et producteurs de faire une réflexion sur leur mode de production actuel et de maximiser leurs rentabilité.
- Encourager l'adoption de pratiques plus durables dans une vision d'efficacité énergétique.

## Références économiq*N*ues



Centre de référence  
en agriculture et agroalimentaire  
du Québec

# Remerciements

---



# Références

---

- ASHRAE. (2019). 2019 ASHRAE handbook : heating, ventilating, and air-conditioning applications - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (SI edition éd.) [Version WorldCat]. Atlanta, GA: ASHRAE Atlanta, GA. Repéré à [http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpASHRAEV/C/viewerType:toc/root\\_slug:ashrae-handbook-heating](http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpASHRAEV/C/viewerType:toc/root_slug:ashrae-handbook-heating)
- Bartok, J. W. (2001). Energy conservation for commercial greenhouses (2001 rev éd.). Ithaca, N.Y.: Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service Ithaca, N.Y.
- Canada, G. o. (2023). Ensembles de données climatiques en génie. Repéré à [https://climate.weather.gc.ca/prods\\_servs/engineering\\_e.html](https://climate.weather.gc.ca/prods_servs/engineering_e.html)
- Campiotti, C., Morosinotto, G., Puglisi, G., Schettini, E., & Vox, G. (2016). Performance Evaluation of a Solar Cooling Plant Applied for Greenhouse Thermal Control. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, 664-669. doi: 10.1016/j.aaspro.2016.02.076
- CRAAQ. (2023). AGDEX 760/821 Coûts des sources d'énergie. In C. d. R. e. A. e. A. d. Québec (Éd.), *Références Économiques* (pp. 6).
- Eaves, J., & Eaves, S. (2017). Comparing the Profitability of a Greenhouse to a Vertical Farm in Quebec: PROFITABILITY OF A GREENHOUSE AND A VERTICAL FARM. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroéconomie*, 66. doi : 10.1111/cjag.12161
- Hydro-Québec. (n.d.). Option tarifaire pour la culture de végétaux. Retrieved November 1, 2024, from <https://www.hydroquebec.com/residentiel/espace-clients/tarifs/option-electricite-additionnelle-vegetaux-tarification.html>
- Producteurs en Serre du Québec. (2008). Rapport final : Projet d'initiatives structurantes en technologies efficaces. Repéré à : <https://www.serres.quebec/wp-content/uploads/2022/11/rapport-efficacite-energetique-par-audits-psq-2008-min.pdf>
- Québec. (2020). Mise à jour — tout le Québec s'investit — Québec veut doubler le volume de culture en serre d'ici 5 ANS. Repéré à <https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/tout-le-quebec-s-investit-quebec-veut-doubler-le-volume-de-culture-en-serre-dici-5-ans>
- SerreBioclimatique. (2018). Retours sur les expérimentations précocité et climat sous serre bioclimatique passive le 1er Mars à Lyon - Serre Bioclimatique. Serre Bioclimatique. <https://serre-bioclimatique.fr/retours-experimentations-preccite-climat-serre-bioclimatique-passive-1er-mars-a-lyon/>



ltsb  
laboratoire thermique  
et science du bâtiment

ets  
mtl  
.ca

# Merci pour votre attention



ÉCOLE DE  
TECHNOLOGIE  
SUPÉRIEURE

Université du Québec