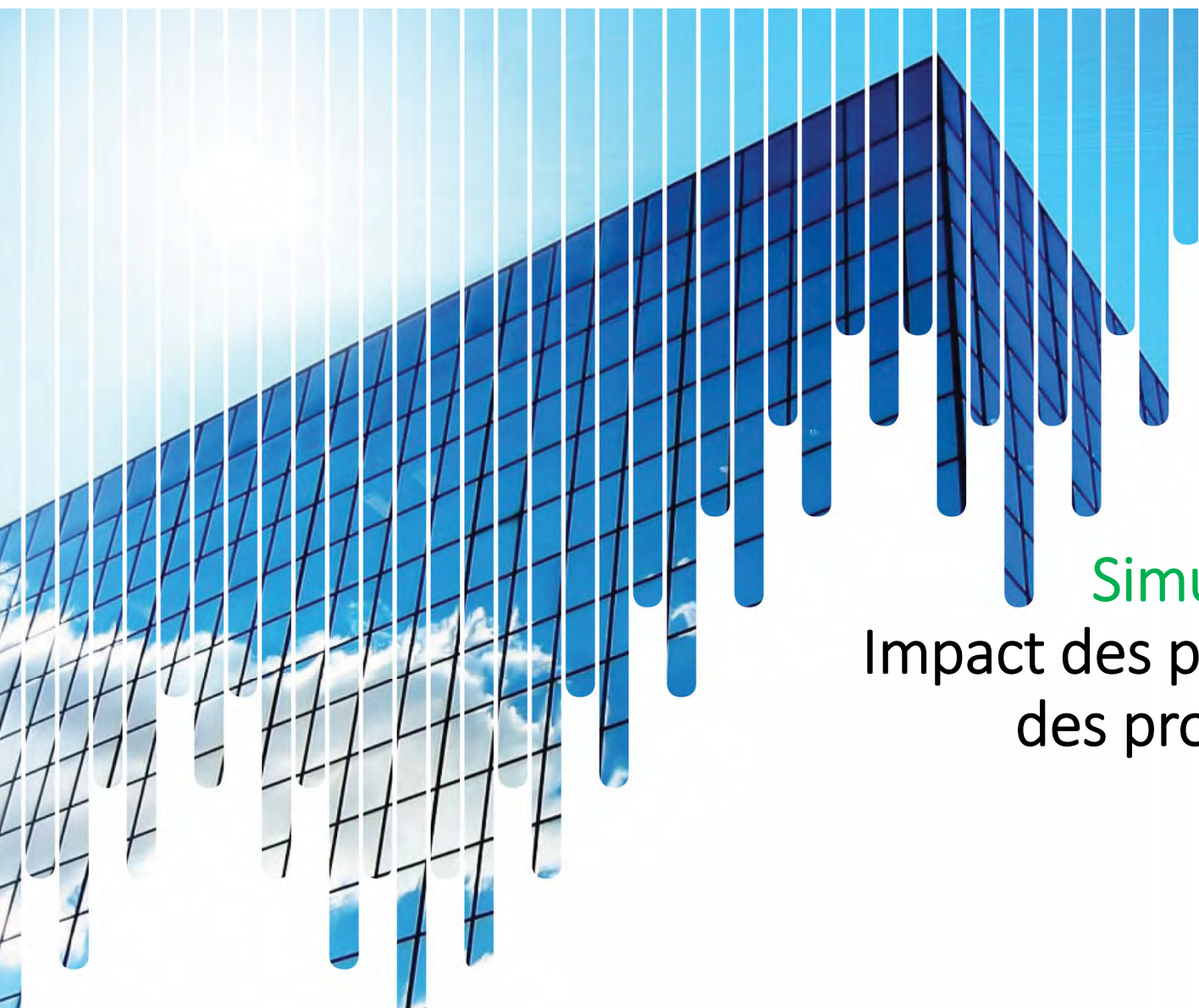




Simulations énergétiques

Impact des propriétés thermiques des produits de fenestration

Jean-Michel Dussault, ing., Ph.D.

 **veridis**
SOLUTIONS

Plan de la présentation

MISE EN CONTEXTE

Produits de fenestration
Performance énergétique et confort
Cadre réglementaire

ÉTUDE DE CAS

Coefficient U
Gain solaires - SHGC
Dimensions standard versus réelles
Analyse de résilience

OUTILS AVANCÉS

Analyses en 3D/CFD

MISE EN CONTEXTE

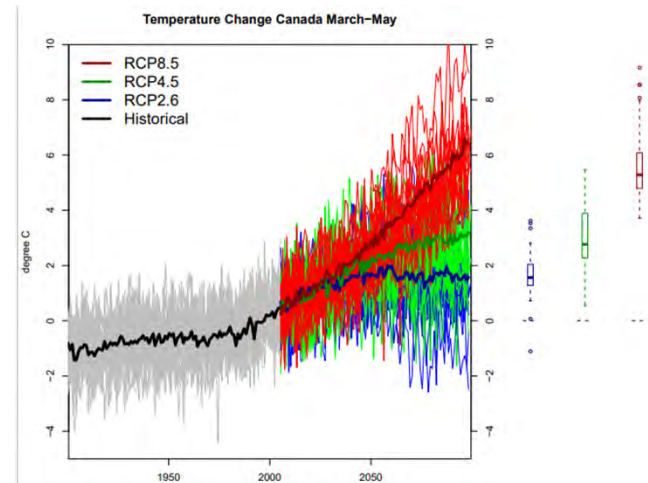
PRODUITS DE FENESTRATION

MISE EN CONTEXTE

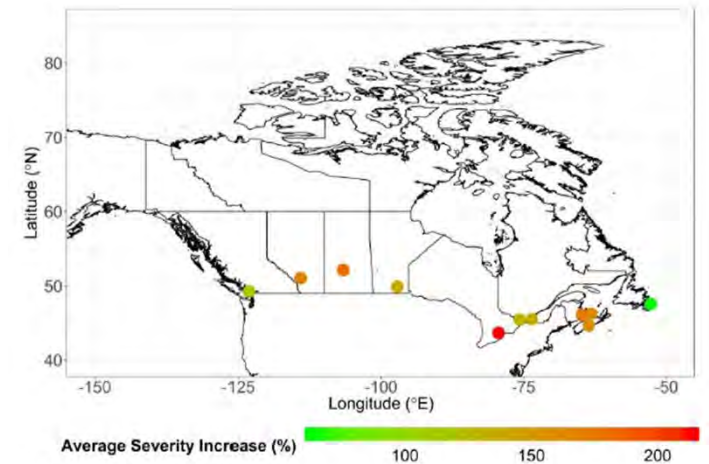
PRODUITS DE FENESTRATION



QUELS SONT LES DÉFIS ET LES PERFORMANCES DE CES PRODUITS FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ?



Référence: gouv. Du Canada



MISE EN CONTEXTE

PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET CONFORT

PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET CONFORT

Transfert de chaleur à travers les produits de fenestration

Notions techniques

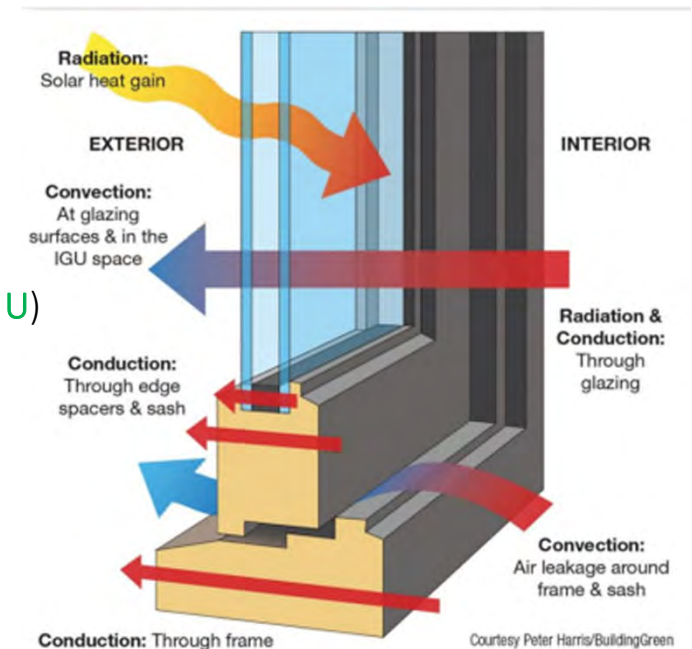
Le flux de chaleur à travers une fenêtre dépend du:

1. Transfert de chaleur dû aux différences de températures (**Coefficient U**)
2. Gain de chaleur solaire (**SHGC**)
3. Taux de fuite d'air (**IA**)

Bilan d'énergie

$$Q = \overset{\text{TRANSFERT DE CHALEUR}}{U} \cdot A_f \cdot (T_{ext} - T_{int}) + \overset{\text{GAINS SOLAIRES}}{SHGC} \cdot A_f \cdot E_t + \overset{\text{FUITES D'AIR}}{0.001 \cdot IA} \cdot A_f \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ext} - T_{int})$$

Ces propriétés ont un effet sur la consommation d'énergie



PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET CONFORT

Transfert de chaleur à travers les produits de fenestration

Rendement énergétique (RE, ou ER en anglais)

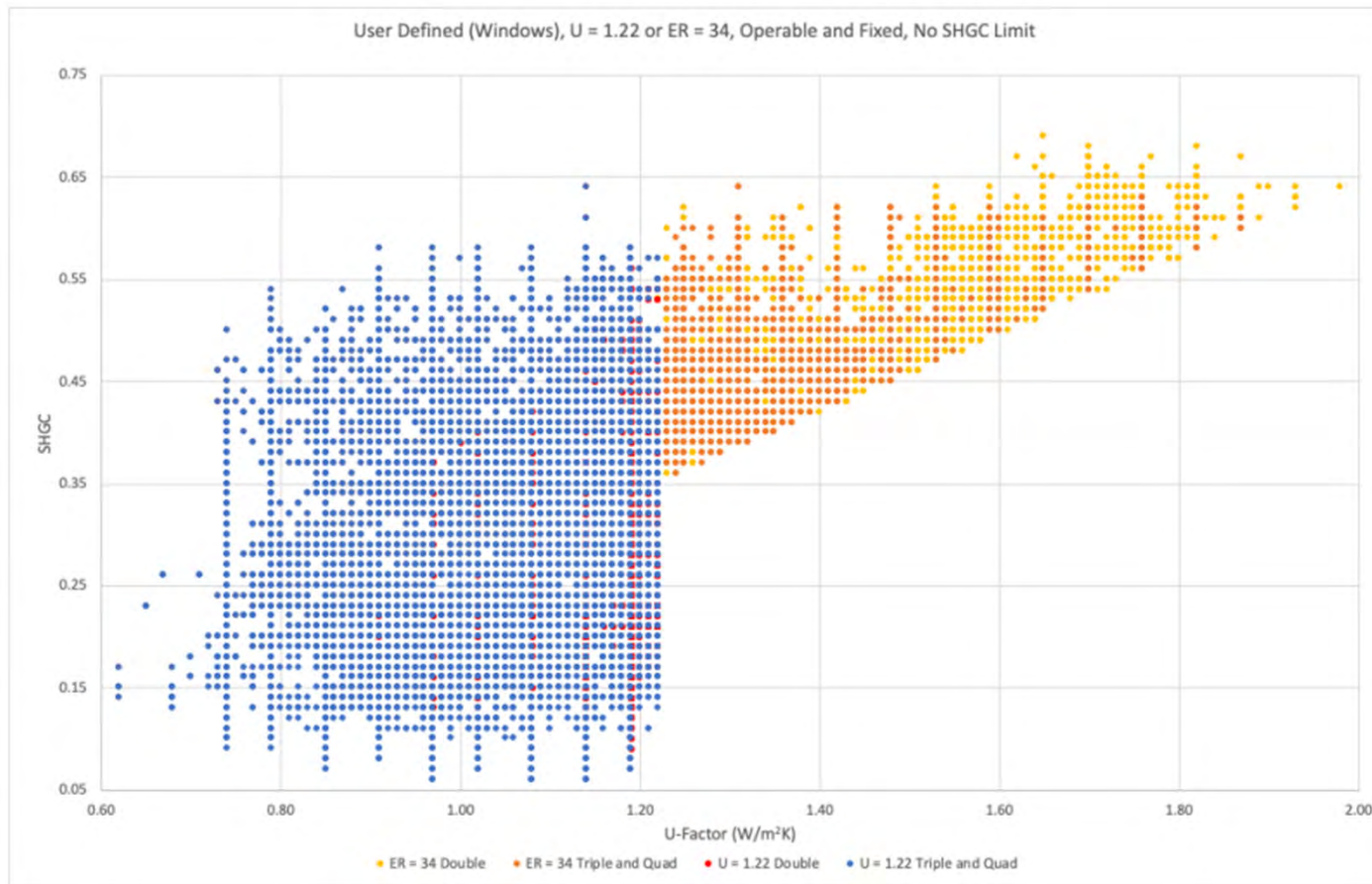
Indice de performance énergétique pour la comparaison de différents produits de fenestration basé sur leur effet sur la charge de chauffage.

Équation simplifiée :
$$ER = (57.76 \times SHGC_w) - (21.90 \times U_w) - (1.97 \times L_{75}) + 40$$

Évolution du RE en fonction des indices de performance applicables

- Diminuer le coefficient U
- Augmenter le SHGC
- Diminuer les taux de fuite d'air

PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET CONFORT



Référence: CHBA, High Solar Gain Energy Code Changes, 2023

PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET CONFORT

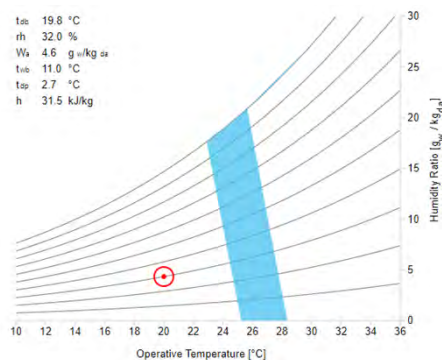
Impact des propriétés des produits de fenestration sur le confort des occupants

Confort des occupants

Niveau de confort déterminé par plusieurs paramètres, dont:

1. Température de l'air
2. Température des surfaces intérieures
3. Niveau d'humidité dans l'air

Les températures sont affectées par les propriétés thermiques des produits de fenestration.



$$t_o = \frac{(t_a + t_{mr})}{2}$$

t_o = température opérative

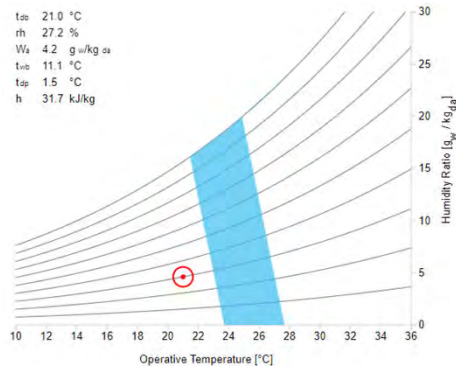
t_a = température de l'air

t_{mr} = température radiative Moyenne (surfaces intérieures)

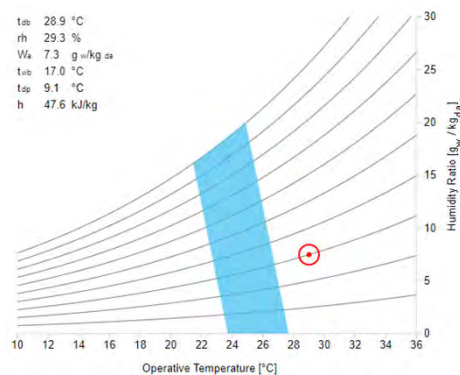
PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET CONFORT

Impact des propriétés des produits de fenestration sur le confort des occupants

Confort des occupants – Situations d'inconfort



Possibilité de chauffer pour augmenter la température opérative dans la zone de confort



En absence de système de climatisation, si les températures extérieures sont élevées, il est plus difficile de réduire la température opérative vers la zone de confort.

PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET CONFORT

Impact des propriétés des produits de fenestration sur le confort des occupants

Confort des occupants

Notion de surchauffe

« L'effet cumulatif sur le confort thermique (ou le stress thermique) et la santé des occupants des bâtiments directement exposés à des événements de chaleur intérieure continus quotidiens. »

Critère d'évaluation

Sévérité

Mesurée en ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$) et indique l'ampleur de l'événement de surchauffe. La gravité prend en compte le niveau de stress thermique (déviations de $t\text{-SET}$ de la valeur seuil) et le temps d'exposition à l'événement de surchauffe.

MISE EN CONTEXTE

CADRE RÉGLEMENTAIRE

CADRE RÉGLEMENTAIRE

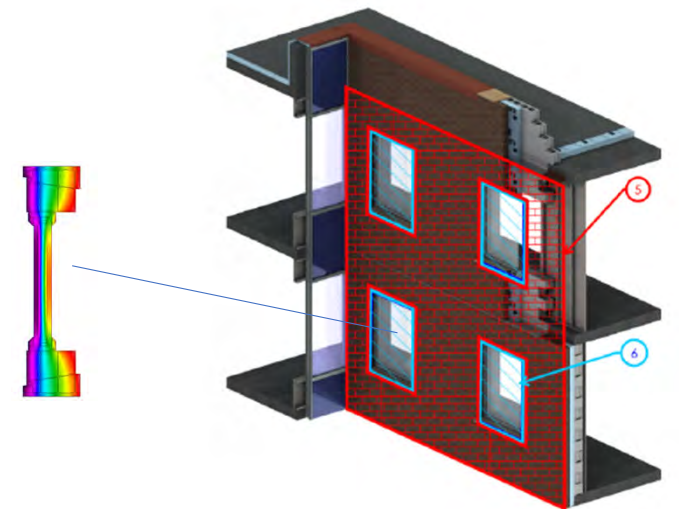
Normes d'évaluation



CSA-A440.2
Rendement énergétique des systèmes de fenêtrage



ANSI/NFRC 100 et 200
Valeur-U (ANSI/NFRC 100)
SHGC (ANSI/NFRC 200)



Source: BETBG

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Exigences du Code de Construction du Québec (2015)

Code de construction du Québec,
Chapitre I – Bâtiment, et
Code national du bâtiment –
Canada 2015 (modifié)

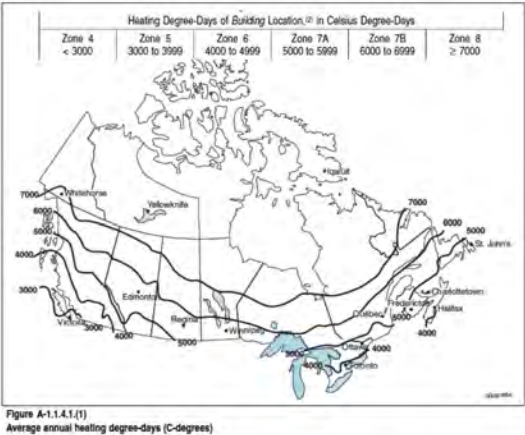


Tableau 11.2.2.4.
Coefficient de transmission thermique globale (U) maximal et rendement
énergétique (RE) minimal des fenêtres, des portes et des lanterneaux
Faisant partie intégrante du paragraphe 11.2.2.4. 1)

Publié par le Conseil national de recherche	Élément du bâtiment	Bâtiment situé dans une municipalité dont le nombre de degrés-jours sous 18 °C est moins de 6000	Bâtiment situé dans une municipalité dont le nombre de degrés-jours sous 18 °C est d'au moins 6000
	Coefficient de transmission thermique globale (U) maximal des portes sans vitrage	0,9	0,8
	Coefficient de transmission thermique globale (U) maximal / Rendement énergétique (RE) minimal ou coefficient de transmission thermique globale (U) maximal des portes avec vitrage	2,0 / 21 ou 1,8	2,0 / 25 ou 1,6
	Coefficient de transmission thermique globale (U) maximal / Rendement énergétique (RE) minimal des fenêtres	2,0 / 21 ou 1,8 / 13	2,0 / 25 ou 1,6 / 17
	Coefficient de transmission thermique globale (U) maximal des lanterneaux	2,85	2,7

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Exigences du Code de Construction du Québec (2015)

**Code de construction du Québec,
Chapitre I – Bâtiment, et
Code national du bâtiment –
Canada 2015 (modifié)**

Article 11.2.2.4. 3)

3) Sauf dans le cas de l'agrandissement d'un *bâtiment* d'au plus 10 m², la superficie totale des ouvertures brutes pratiquées dans les éléments du *bâtiment*, prévues pour y recevoir des fenêtres, des portes, des lanterneaux et d'autres éléments semblables, ne doit pas être supérieure à 30 % de la superficie des murs au-dessus du niveau du sol incluant les murs de fondation hors sol (voir la note A-11.2.2.4. 3)).

Publié par le
Conseil national de recherches du Canada

Extrait de la Note A-11.2.2.3. 3)

Malgré que la partie 11 ne contient pas d'exigences minimisant la surchauffe pouvant être causée par les ouvertures translucides selon leur dimension et leur orientation, il est recommandé d'en tenir compte afin de minimiser la charge énergétique qui pourrait être requise afin de climatiser certains espaces.

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Code de construction du Québec, Chapitre I.1 – Efficacité énergétique du bâtiment, et Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada 2015 (modifié)

Code de construction du Québec,
Chapitre I.1 – Efficacité énergétique
du bâtiment, et Code national de
l'énergie pour les bâtiments –
Canada 2015 (modifié)

Publié par le
Conseil national d



Figure A-1.1.4.1.(1)
Average annual heating degree-days (C-degrees)

Tableau 3.2.2.3.
Coefficient de transmission thermique globale du fenêtrage
Faisant partie intégrante des paragraphes 3.2.2.3. 2) et 3)

Composant	Degrés-jours de chauffage sous 18 °C pour l'emplacement du bâtiment,(1) en degrés-jours Celsius					
	Zone 4 : < 3000	Zone 5 : 3000 à 3999	Zone 6 : 4000 à 4999	Zone 7A : 5000 à 5999	Zone 7B : 6000 à 6999	Zone 8 : ≥ 7000
	Coefficient de transmission thermique globale maximal, en W/(m² · K)					
Fenêtrage sauf lanterneaux	2,0	2,0	2,0	2,0	1,6	1,6
Lanterneaux	2,85	2,85	2,85	2,85	2,7	2,7

(1) Voir le paragraphe 1.1.4.1. 1).

Tableau 3.2.2.4.
Coefficient de transmission thermique globale des portes
Faisant partie intégrante des paragraphes 3.2.2.4. 1) et 2)

Composant	Degrés-jours de chauffage sous 18 °C pour l'emplacement du bâtiment,(1) en degrés-jours Celsius					
	Zone 4 : < 3000	Zone 5 : 3000 à 3999	Zone 6 : 4000 à 4999	Zone 7A : 5000 à 5999	Zone 7B : 6000 à 6999	Zone 8 : ≥ 7000
	Coefficient de transmission thermique globale maximal, en W/(m² · K)					
Portes avec vitrage	2,0	2,0	2,0	2,0	1,6	1,6
Portes sans vitrage	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8

(1) Voir le paragraphe 1.1.4.1. 1).

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Code de construction du Québec, Chapitre I.1 – Efficacité énergétique du bâtiment, et Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada 2015 (modifié)

**Code de construction du Québec,
Chapitre I.1 – Efficacité énergétique
du bâtiment, et Code national de
l'énergie pour les bâtiments –
Canada 2015 (modifié)**

3.2.1.4. Aire admissible du fenêtrage et des portes

1) L'aire totale des portes et du *fenêtrage*, excluant l'aire des *lanterneaux*, doit être égale ou inférieure à 40 % de l'aire brute des murs déterminée conformément à l'article 3.1.1.6.

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Code de construction du Québec, Chapitre I.1 – Efficacité énergétique du bâtiment, et Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada 2015 (modifié)

**Code de construction du Québec,
Chapitre I.1 – Efficacité énergétique
du bâtiment, et Code national de
l'énergie pour les bâtiments –
Canada 2015 (modifié)**

Extraits du Guide, Page 71 (Conformité par la méthode prescriptive)



Le Code ne renferme pas d'exigences prescriptives concernant le coefficient de gain solaire (CGS), mieux connu sous l'acronyme anglophone SHGC (pour *solar heat gain coefficient*). Le CGS est un coefficient entre 0 et 1. Plus il est élevé, plus important sera le gain de chaleur interne associé au rayonnement solaire au travers de la fenêtre. Le concepteur devrait choisir le CGS des produits de fenêtrage de son bâtiment en fonction de l'usage, des gains internes, de la superficie vitrée, de l'orientation et du niveau d'ombrage sur le bâtiment. Typiquement, pour un climat froid, le CGS d'un bâtiment ayant de forts besoins en chauffage devrait être plus élevé qu'un bâtiment à faible besoin en chauffage, de manière à profiter du rayonnement solaire pour chauffer le bâtiment en hiver. Il faut cependant faire attention de ne pas créer de surchauffe en trouvant le juste milieu selon la situation. Les outils de simulation sont alors tout indiqués pour évaluer différents scénarios et aider le concepteur à choisir la meilleure option à envisager selon le contexte applicable. La partie 3 ne contient pas non plus d'exigences prescriptives basées sur le coefficient de rendement énergétique (RE) des fenêtres puisque celui-ci a été développé en fonction des bâtiments d'habitation de faible hauteur. Il n'est donc pas applicable pour la grande majorité des bâtiments visés par le Code.

Publié par le
Conseil national de recherches du Canada

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Exemples d'évolution des exigences

Limite établie pour le coefficient de gain solaire à la section 9.36. (partie 9)
PCF 1823

Modification proposée 1823

Renvoi(s) : CNB20 Div.B 9.36.2.7. (première impression)
CNB20 Div.B 9.36.5.3. (première impression)
CNB20 Div.B 9.36.7.3. (première impression)

Sujet :

Titre :

Description :

Tableau [9.36.2.7.-B]

Coefficient de gain solaire du fenêtrage et des portes

Faisant partie intégrante du paragraphe [9.36.2.7.] 9.36.2.7. [3] 2)

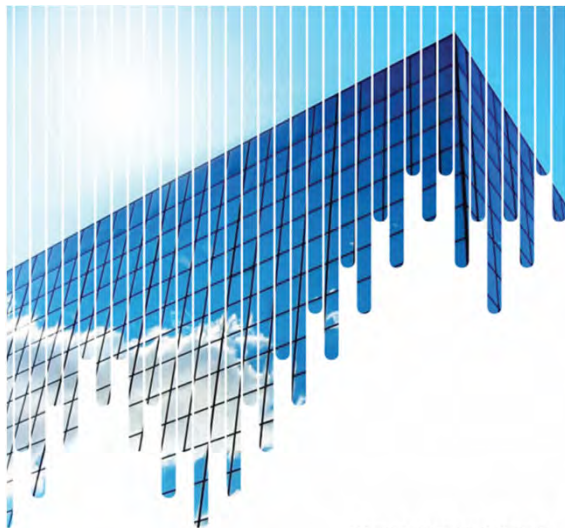
<u>Rapport entre l'aire du fenêtrage et des portes et l'aire brute des murs (FDWR)</u>	<u>Coefficient de gain solaire maximal du fenêtrage et des portes</u>
<u>FDWR < 17 %</u>	<u>0,45</u>
<u>17 % < FDWR < 22 %</u>	<u>0,40</u>
<u>FDWR > 22 %</u>	<u>0,26</u>

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Exemples d'évolution des exigences

Limite établie pour le coefficient de gain solaire à la section 9.36. (partie 9)

PCF 1823



BUILDING ENERGY SIMULATIONS
Impact of SHGC on the thermal performance of
detached houses in different Canadian climate [zones](#)

Table 4 – AVFQ proposition for maximum SHGC values used in the energy simulations as a function of the climate zone and FDWR.

	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7A	Zone 7B	Zone 8
FDWR ≤ 17%	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
17% < FDWR ≤ 22%	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55
22% < FDWR ≤ 30%	0.26	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
FDWR > 30%	0.26					

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Exemples d'évolution des exigences

Projet de règlement

GAZETTE OFFICIELLE DU QUÉBEC, 27 décembre 2023

8.4.1.2.

« 2) Les besoins énergétiques annuels du *bâtiment* proposé ne doivent pas dépasser ceux du *bâtiment* de référence et doivent être évalués comme suit :

$$2200 D_{\text{Prop}} + \text{CAE} \leq 2200 D_{\text{Ref}} + \text{CCE}$$

où :

Bâtiment proposé:

D_{prop} = Demande de puissance

CAE = Consommation annuelle

Bâtiment de référence:

D_{ref} = Demande de puissance de référence

CCE Consommation d'énergie cible

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Méthode de performance

Impact des propriétés des produits de fenestration sur la performance énergétique

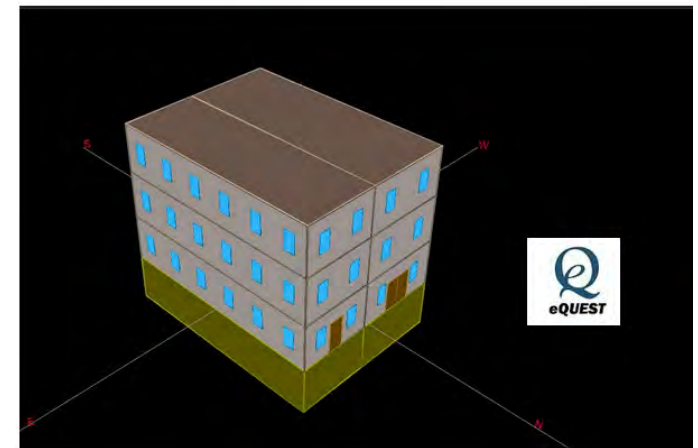
Simulation d'un bâtiment pour en évaluer le niveau de performance énergétique

Démarche

Modélisation de la géométrie d'un bâtiment, de son enveloppe, de ses systèmes mécaniques et de ses charges internes.

Permet d'évaluer, entre autres :

1. Les températures de l'air des zones intérieures
2. Les besoins en chauffage et en climatisation
3. La consommation d'énergie liée à tout poste de consommation



Référence: <https://www.usgbc.org/>

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Méthode de performance

Impact des propriétés des produits de fenestration sur la performance énergétique

Paramètres influencés par les propriétés des produits de fenestration

Consommation d'énergie

- Charge de chauffage
- Charge de climatisation

Confort des occupants

- Température de l'air intérieur
- Température de surface intérieure

ÉTUDE DE CAS

Coefficient U

Gain solaires - SHGC

Dimensions standard versus réelles

Autres hypothèses liées à la fenestration

Impact des propriétés des produits de fenestration sur la performance énergétique

Bâtiment simulé

Bâtiment résidentiel de 200 logements, 30% fenestration

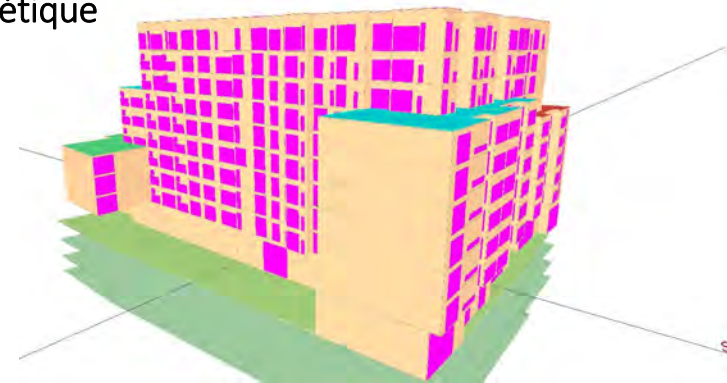
Unités ciblées pour évaluer le confort

Douzes unités résidentielles réparties sur différents niveaux et orientations

1. Quatres unités au niveau 2
2. Quatres unités au niveau 5
3. Quatres unités au niveau 10

À chaque niveau, une unité est orientée Nord, Est, Sud et Ouest.

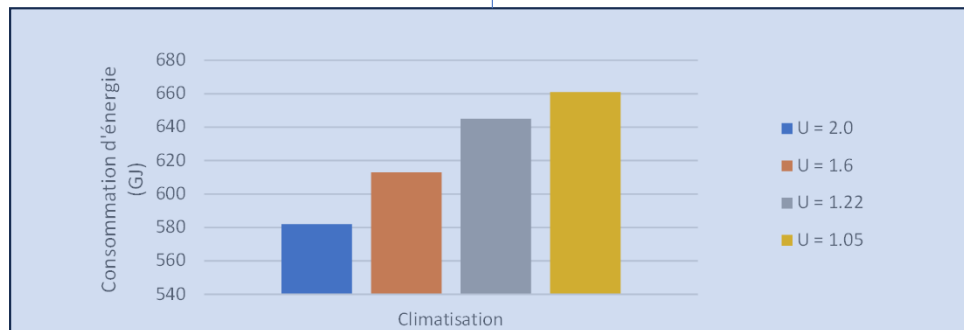
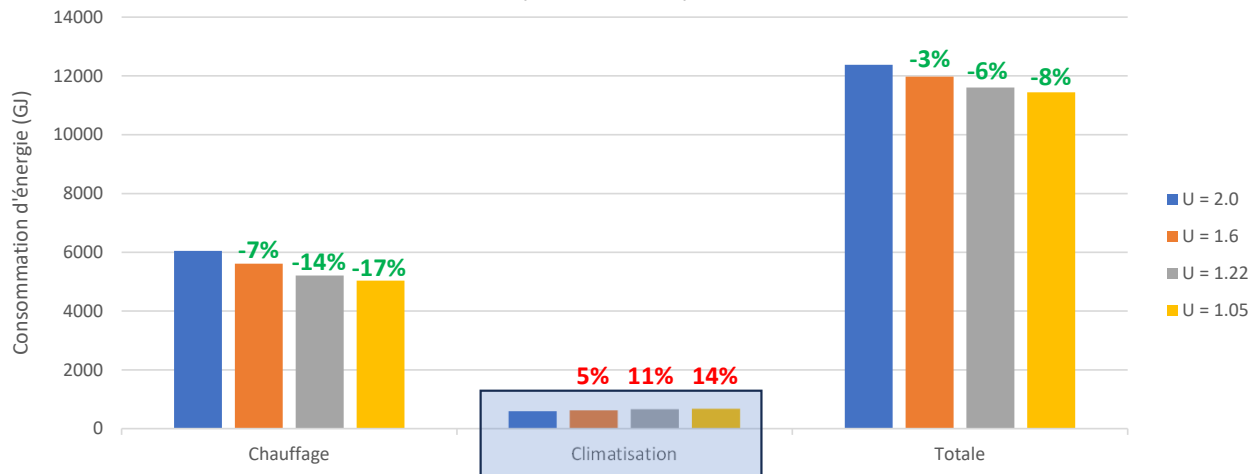
Chaque unité est équipée d'un système de chauffage d'appoint électrique et d'une thermopompe.



Paramètres bâtiment	
	%
WWR_{nord}	41
WWR_{sud}	48
WWR_{est}	52
WWR_{ouest}	46

Coefficient U

Effet du coefficient U sur la consommation d'énergie
(SHGC = 0.40)



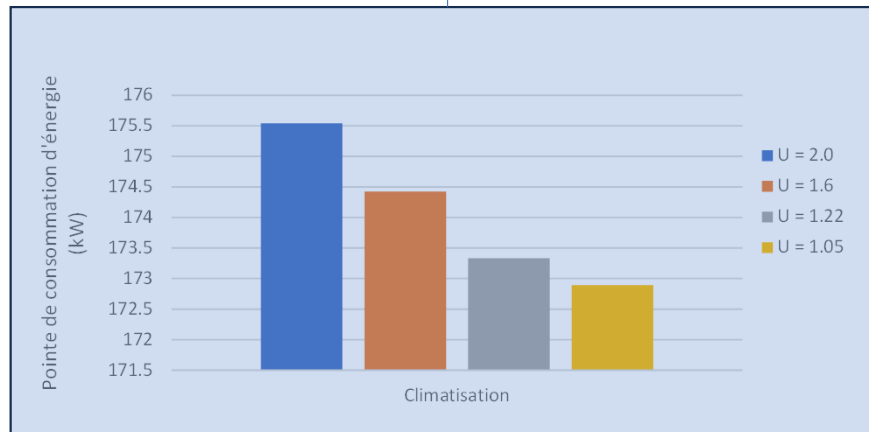
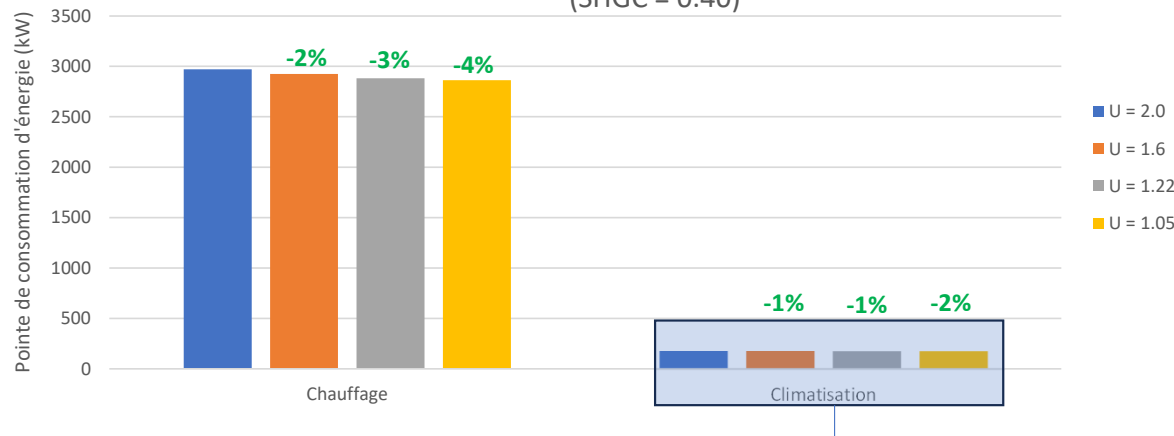
Effets du coefficient U:

- $\downarrow U \rightarrow \downarrow \text{Cons.Ener}_{\text{Chauffage}}$ (et global)
- $\downarrow U \rightarrow \uparrow \text{Cons.Ener}_{\text{Climatisation}}$

Coefficient U



Effet du coefficient U sur la pointe de consommation d'énergie
(SHGC = 0.40)



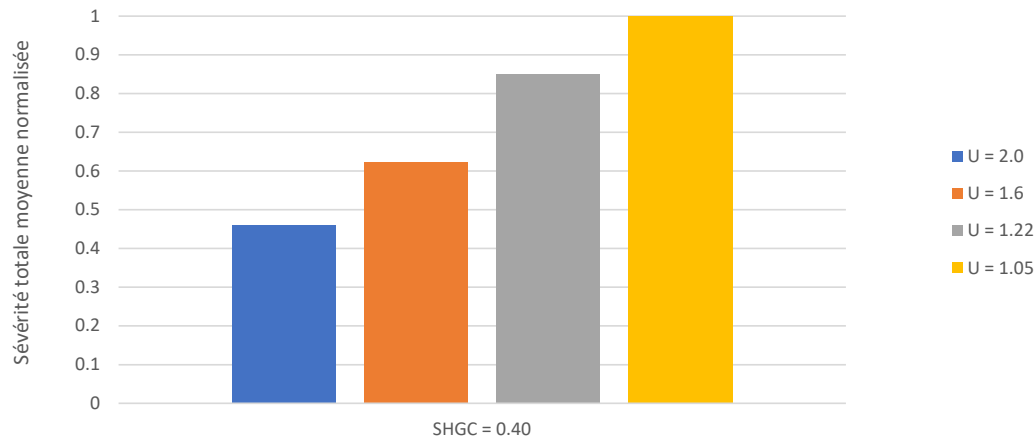
Effets du coefficient U:

- $\downarrow U \rightarrow \downarrow \text{Cons.Ener}_{\text{Chauffage}}$ (et global)
- $\downarrow U \rightarrow \uparrow \text{Cons.Ener}_{\text{Climatisation}}$
- $\downarrow U \rightarrow \downarrow \text{Demande}_{\text{Chauffage}}$
- $\downarrow U \rightarrow \downarrow \text{Demande}_{\text{Climatisation}}$

Coefficient U



Effet du coefficient U sur le potentiel de surchauffe
(Bâtiment sans climatisation)



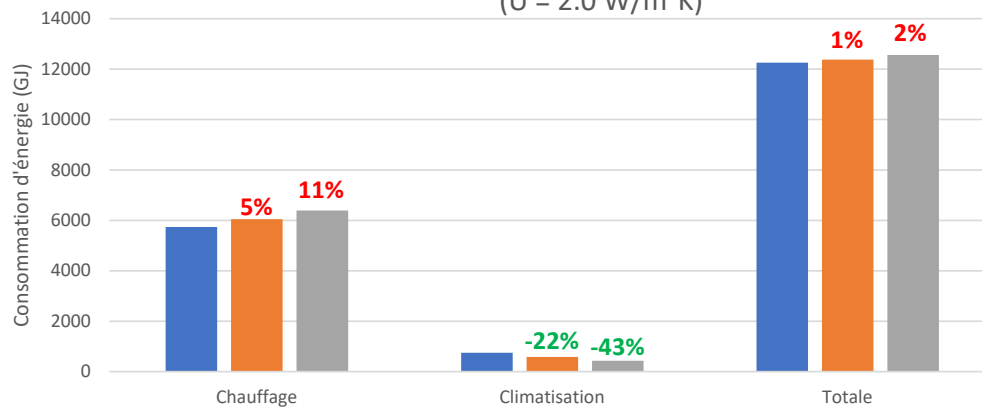
Effets du coefficient U:

- $\downarrow U \rightarrow \downarrow \text{Cons.Ener}_{\text{Chauffage}}$ (et global)
- $\downarrow U \rightarrow \uparrow \text{Cons.Ener}_{\text{Climatisation}}$
- $\downarrow U \rightarrow \downarrow \text{Demande}_{\text{Chauffage}}$
- $\downarrow U \rightarrow \downarrow \text{Demande}_{\text{Climatisation}}$
- $\downarrow U \rightarrow \uparrow \text{Sévérité}$

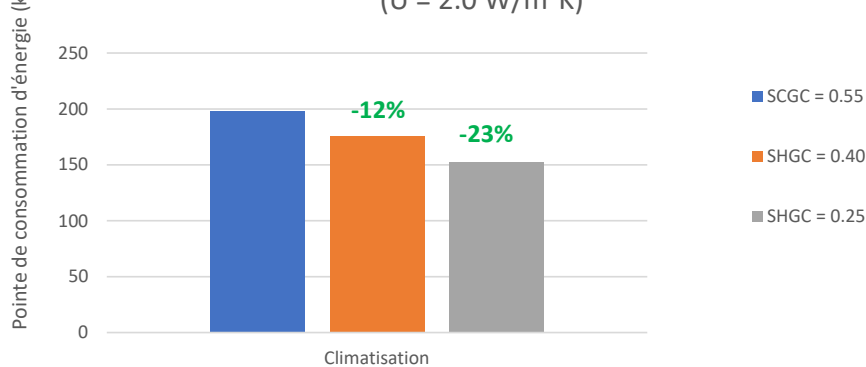
Gains Solaires - SHGC



Effet des gains solaires sur la consommation d'énergie
($U = 2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$)



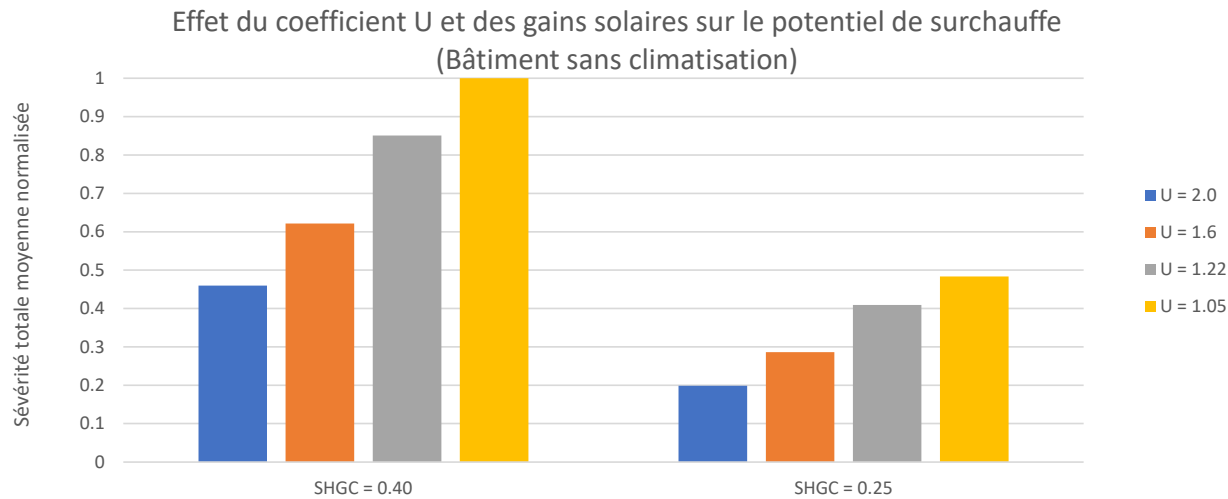
Effet des gains solaires sur la pointe de consommation d'énergie
($U = 2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$)



Effets du SHGC:

- $\downarrow \text{SHGC} \rightarrow \uparrow \text{Cons.Ener}_{\text{Chauffage}}$ (et global)
- $\downarrow \text{SHGC} \rightarrow \downarrow \text{Cons.Ener}_{\text{Climatisation}}$
- $\downarrow \text{SHGC} \rightarrow \downarrow \text{Demande}_{\text{Climatisation}}$

Gains Solaires - SHGC



Effets du SHGC:

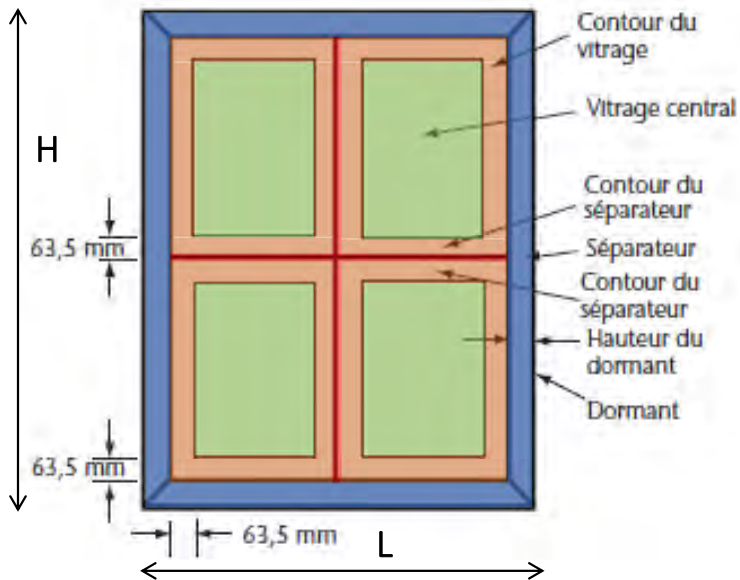
- $\downarrow$ SHGC $\rightarrow$ $\uparrow$ **Cons.Ener_{Chauffage} (et global)**
- $\downarrow$ SHGC $\rightarrow$ $\downarrow$ **Cons.Ener_{Climatisation}**
- $\downarrow$ SHGC $\rightarrow$ $\downarrow$ **Demande_{Climatisation}**
- $\downarrow$ SHGC $\rightarrow$ $\downarrow$ **Sévérité (Surchauffe)**

ÉTUDE DE CAS

Dimensions standard versus réelles

Dimensions standard versus réelles

CALCUL DU COEFFICIENT U



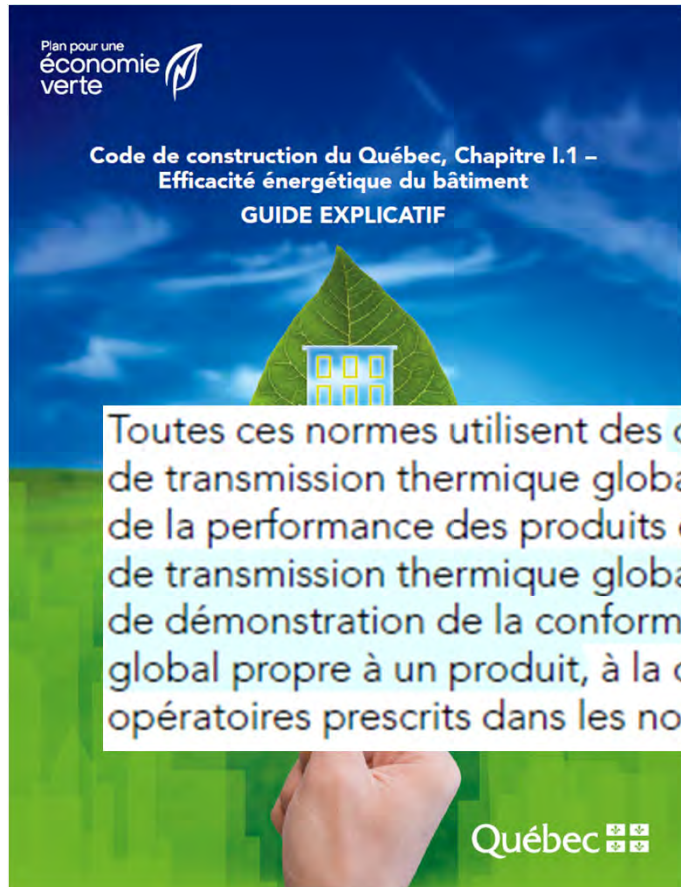
$$U = \frac{U_d \cdot A_d + U_s \cdot A_s + U_c \cdot A_c + U_v \cdot A_v}{A_{tot}}$$

Légende:

- A_d : Surface totale du dormant
- A_s : Surface totale du séparateur
- A_c : Surface totale du contour du vitrage
- A_v : Surface totale du vitrage

A_{tot} : Surface projetée de la fenêtre (L·H)

Dimensions standard versus réelles



Extrait du Guide, Page 71 (Conformité par la méthode prescriptive)

Dimensions standard versus réelles

Table 4-3 – Product Types and Model Sizes

Product Type	Model Size Width x Height, mm (in)	Operable (X) Non-operable (O)
Windows		
Casement – Single	600 x 1500 (24 x 59)	X
Casement – Double	1200 x 1500 (47 x 59)	XX, XO
Dual-Action	1200 x 1500 (47 x 59)	X
Fixed	1200 x 1500 (47 x 59)	O
Greenhouse/Garden	1500 x 1200 (59 x 47)	X, O
Horizontal Slider	1500 x 1200 (59 x 47)	XX, XO
Pivoted	1200 x 1500 (47 x 59)	X
Projecting (Awning – Single)	1500 x 600 (59 x 24)	X
Vertical Slider	1200 x 1500 (47 x 59)	XX, XO
Doors and Door Related		
Side-Hinged Exterior Door	960 x 2090 (38 x 82)	X, O
Side-Hinged Exterior Door (Double)	1920 x 2090 (76 x 82)	XX, XO
Sliding Glass Door	2000 x 2000 (79 x 79)	XX, XO
Sidelite	960 x 2090 (38 x 82)	X, O
Transom	2000 x 600 (79 x 24)	O
Garage (Vehicular Access)/Rolling Door	2134 x 2134 (84 x 84)	X
Skylights		
Skylight/Roof Window	1200 x 1200 (47 x 47)	X, O
Tubular Daylighting Device	350 (14) Diameter	O
Glazed Wall Systems		
Curtain Wall	2000 x 2000 (79 x 79)	OO
Window Wall	2000 x 2000 (79 x 79)	OO
Sloped Glazing	2000 x 2000 (79 x 79)	OO
Spandrel Panel System	2000 x 2000 (79 x 79)	OO

Dimensions standard versus réelles

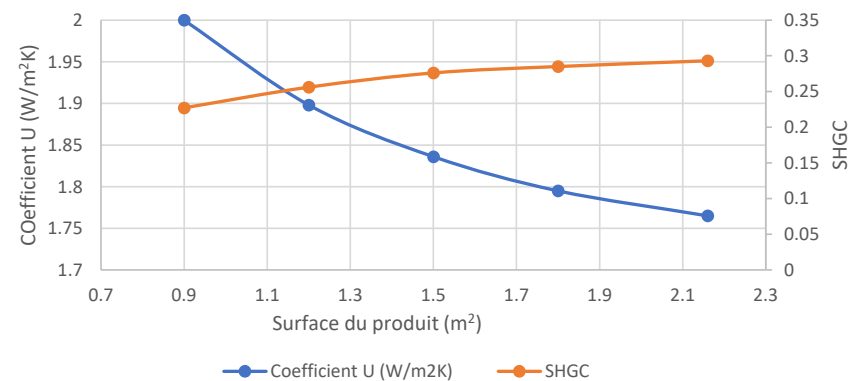
Ex.: Dimensions réelles (projet) plus grandes

Fenêtre opérante en aluminium avec bris thermique

ID	Name	Type	Width	Height	Ufactor	SHGC	Tvis
			mm	mm	W/m2-K		
1	6mm_1_LowE#2-arg95-Cl_600 x 1500	Casement - Single	600	1500	2.001	0.227	0.378
2	6mm_1_LowE#2-arg95-Cl_800 x 1500	Custom Single Vision	800	1500	1.898	0.256	0.431
3	6mm_1_LowE#2-arg95-Cl_1000 x 1500	Custom Single Vision	1000	1500	1.836	0.273	0.464
4	6mm_1_LowE#2-arg95-Cl_1200 x 1500	Custom Single Vision	1200	1500	1.795	0.285	0.485
5	6mm_1_LowE#2-arg95-Cl_1200 x 1800	Custom Single Vision	1200	1800	1.765	0.293	0.499

Largeur x hauteur (mm)	Surface (m ²)
600 x 1500	0.90
800 x 1500	1.20
1000 x 1500	1.50
1200 x 1500	1.80
1200 x 1800	2.16

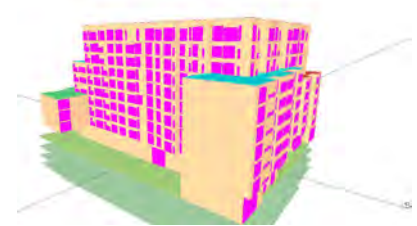
Coefficient U et SHGC en fonction de la dimension du produit



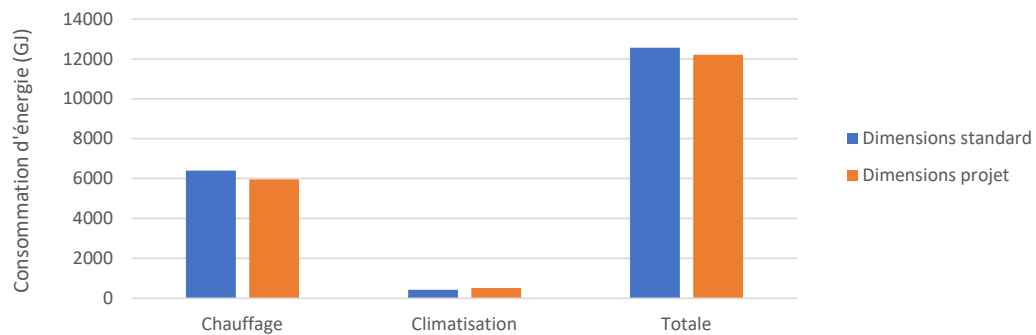
Dimensions standard versus dimensions réelles

Ex.: Fenêtre d'aluminium avec bris thermique

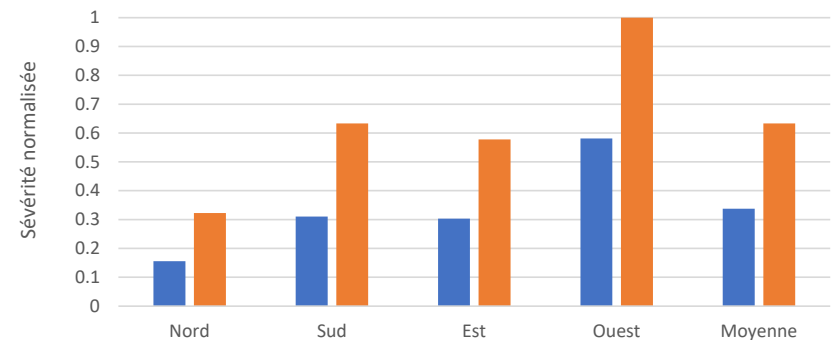
Dimensions	Coefficient U (W/m²K)	SHGC (-)
Standard	2.00	0.23
Projet	1.77	0.29



Effet des dimensions des fenêtres sur la consommation d'énergie



Effet des dimensions des fenêtres sur le potentiel de surchauffe
(Bâtiment sans climatisation)



Dimensions standard versus dimensions réelles

L'inverse peut aussi arriver



Référence: Holz LLC



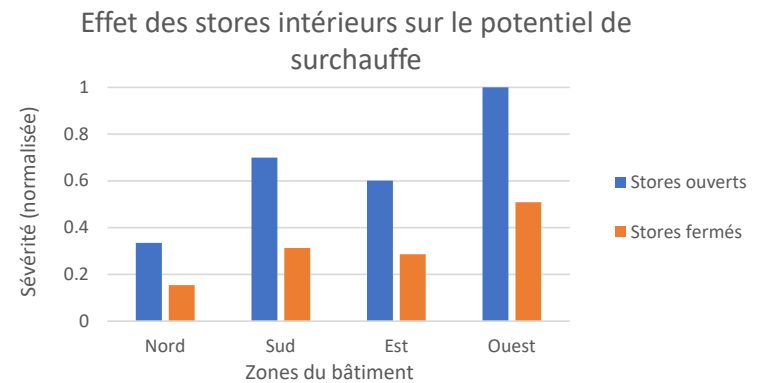
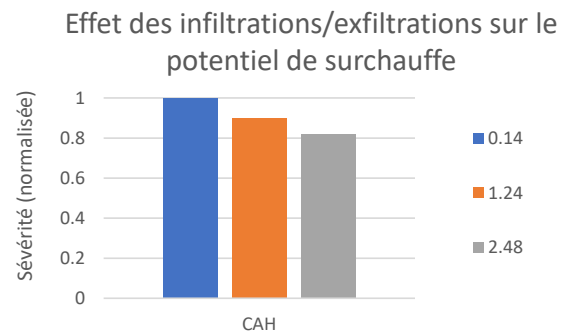
Autres hypothèses liées à la fenestration



Référence: finehomebuilding.com



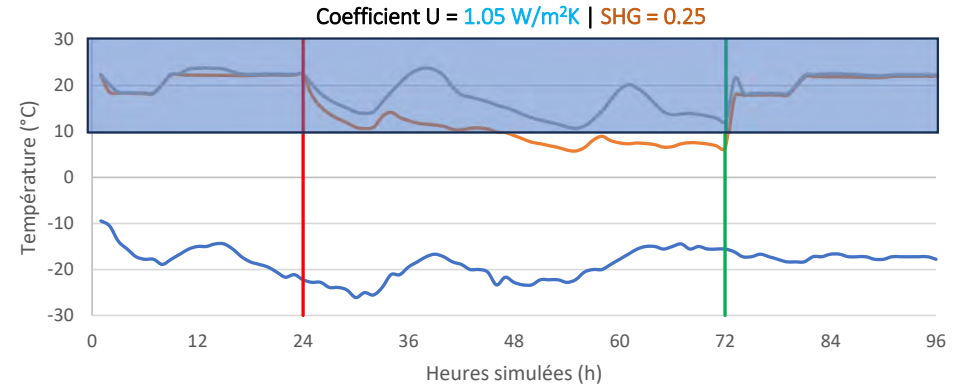
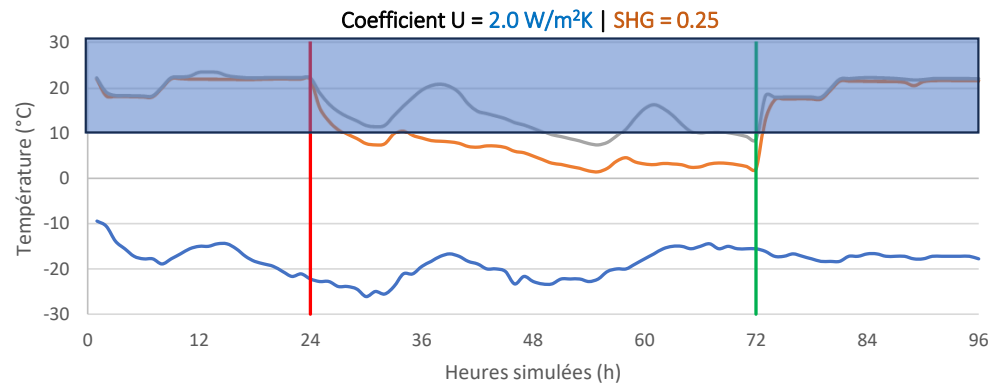
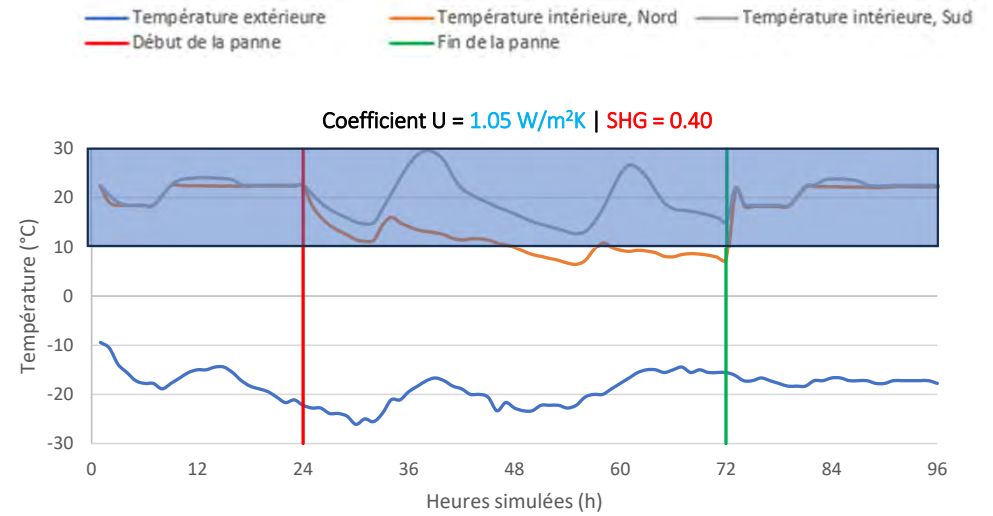
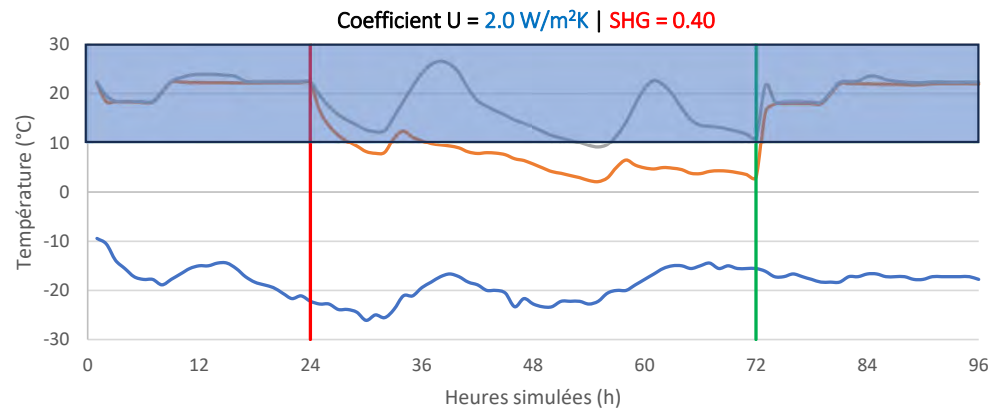
Référence: LBNL



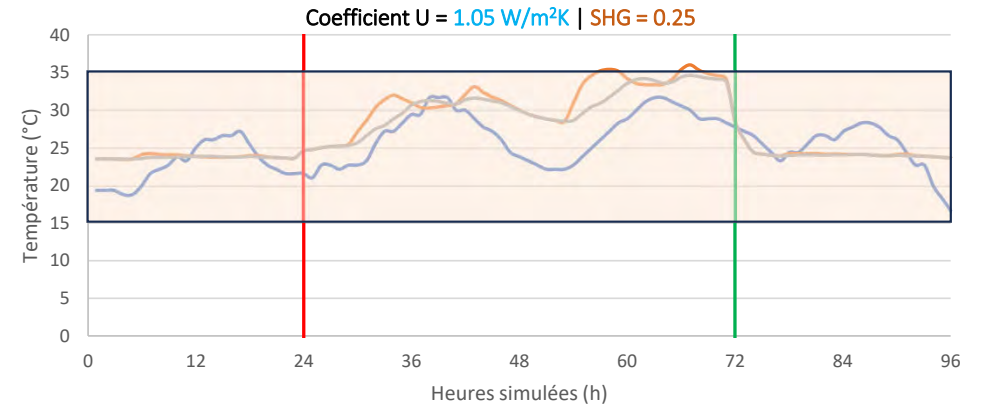
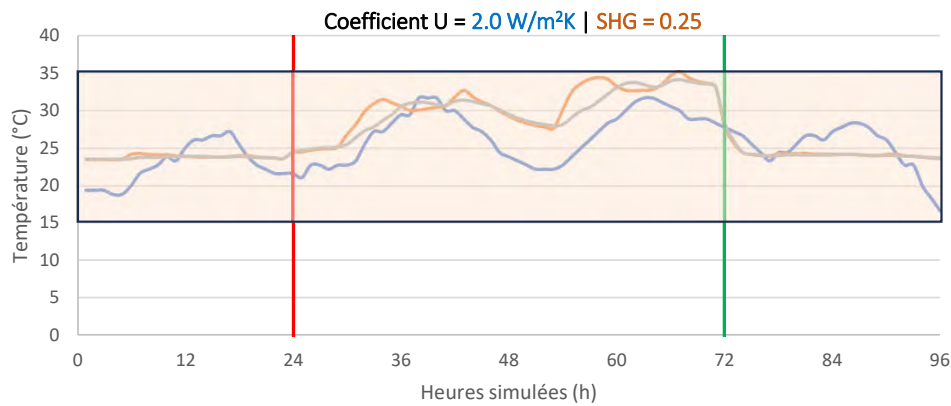
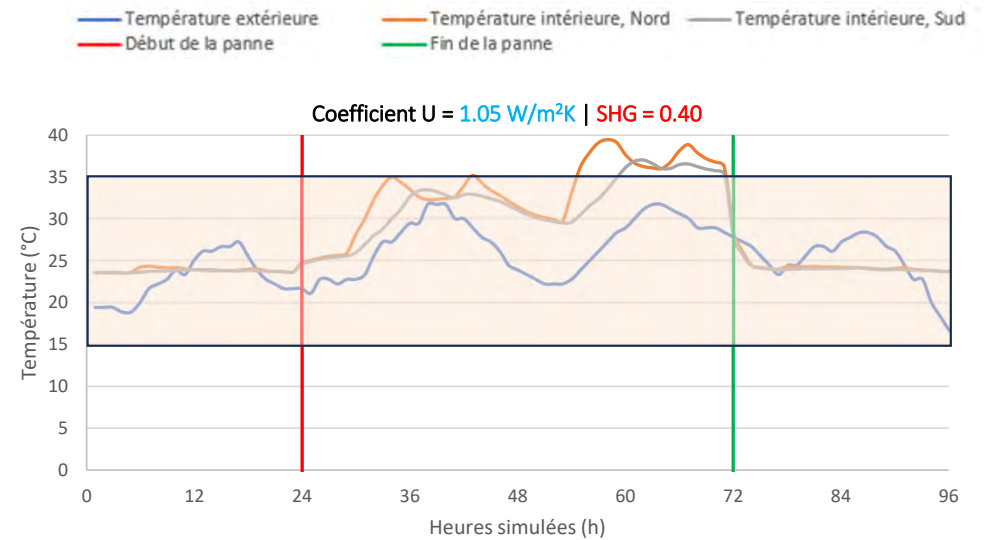
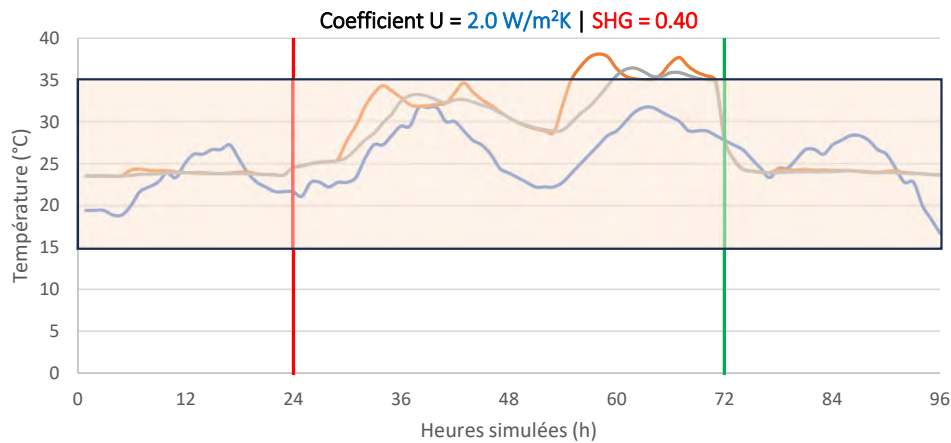
ÉTUDE DE CAS

Analyse de résilience

Analyse de résilience



Analyse de résilience



CONCLUSIONS

Les propriétés thermiques des produits de fenestration ont un impact sur:

1. La consommation d'énergie
 2. Le confort thermique des occupants
- Les propriétés thermiques des produits de fenestration peuvent permettre d'améliorer le bilan d'énergie du bâtiment, mais influencera également les risques de surchauffe. D'où l'importance d'inclure l'analyse de ces risques.
 - Travailler avec les dimensions réelles propres au projet permet d'obtenir des résultats plus précis. Cela peut également aider à la conformité.
 - Les propriétés thermiques des produits de fenestration peuvent également aider à augmenter la résilience des bâtiments en cas de panne électrique.

Notes:

Les données présentées sont basées sur des modèles spécifiques avec hypothèses. Ces hypothèses peuvent influencer les résultats (valeurs absolues et pourraient ne pas être valable pour tous les types de projet)

Il est davantage intéressant, dans ce contexte de s'attarder aux conclusions des comportements relatifs.

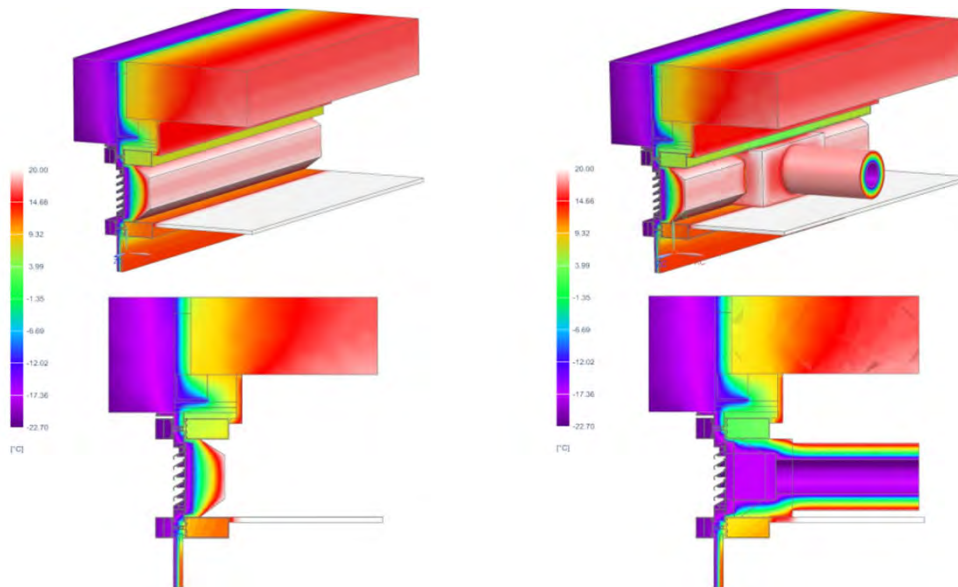
OUTILS AVANCÉS

Analyses 3D/CFD

Analyses 3D/CFD

Impact d'éléments ponctuels sur les températures de surface intérieure

Comparaison des températures évaluées par simulations 3D sans et avec élément ponctuel

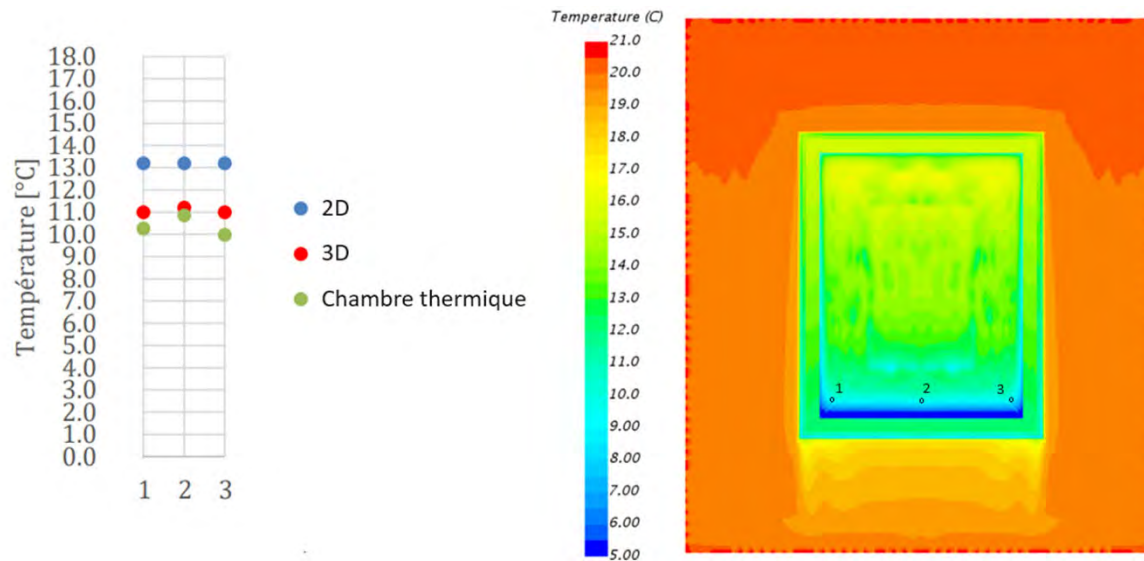


	Température de surface intérieure minimale [°C]
Sans élément ponctuel	6.4
Avec élément ponctuel	3.5

Analyses 3D/CFD

Évaluation de la précision des températures de surfaces simulées pour une fenêtre

Comparaison des températures évaluées par simulations 2D vs 3D et essai physique

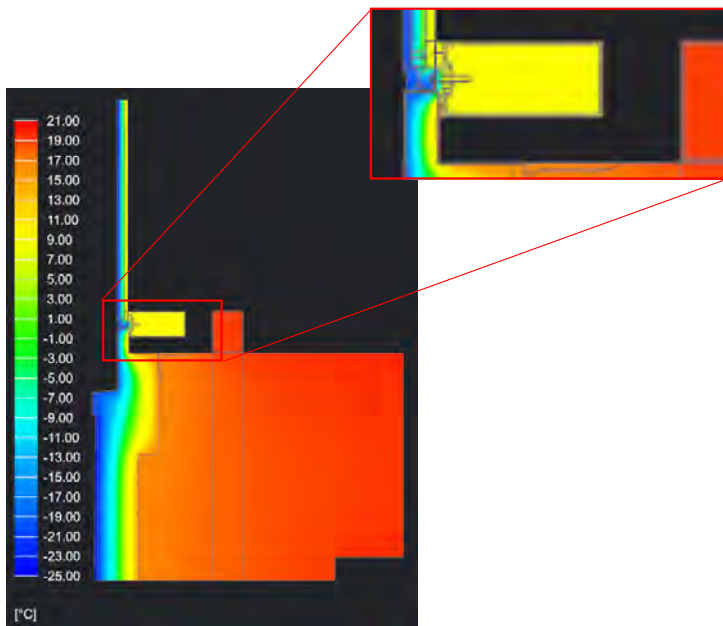


Analyses 3D/CFD

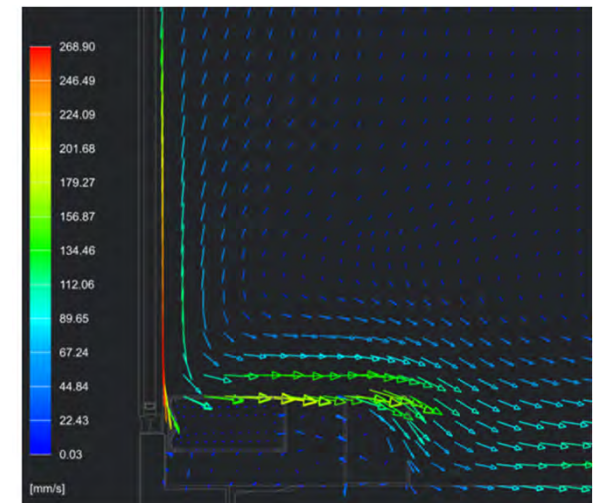
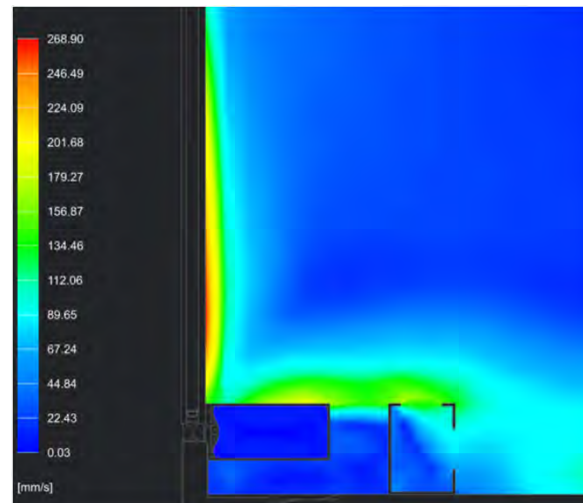
Impact ... dans les cavités non ventilées

Évaluation des températures à l'intérieur d'une cavité non ventilée par simulation de la CFD

Profil de température



Vitesse de l'air



Questions