



Rapport à remettre par Moodle au plus tard le mercredi 26 février à 18:00
Pondération : voir plan de cours (tous les devoirs ont le même poids)
Ce devoir doit être réalisé individuellement

Révision : 2025-02-09

1. Bilan détaillé d'une unité scellée de fenêtre

On modélise les propriétés au centre du vitrage d'une unité scellée (*Insulated Glazing Unit, IGU*) verticale mesurant 1.5 m de haut et 1 m de large. Les caractéristiques du double vitrage modélisé sont :

- Panneau de verre Id 4492 (Planibel Clearlite 4 mm) côté extérieur
- Espace d'argon de 12 mm
- Panneau de verre Id 4453 (iplus Top 1.1T on Clearlite 4 mm) côté intérieur (le film à basse émissivité du vitrage intérieur est installé sur la face #3)

(les numéros des vitrages correspondent à ceux de la base de données du logiciel WINDOW, ils sont tous fabriqués par AGC Glass Europe)

Les données nécessaires pour les calculs sont fournies en annexe A1 (captures d'écran du logiciel WINDOW). Pour le calcul du U_{cg} , vous aurez besoin des émissivités E1 et E2 et la conductivité Cond de chaque couche de verre. Pour le calcul du $SHGC$, vous aurez besoin de l'absorptance effective de chaque couche (en tenant compte des réflexions multiples) qui est donnée dans l'onglet « Optical Data » (Abs1 et Abs2). La transmittance globale dans la gamme solaire (T_{sol}) est également donnée.

Vous pouvez vérifier vos résultats (températures des différentes surfaces) en les comparant à ceux du logiciel WINDOW.

 Fichier de départ fourni sur Moodle : Devoir3-1-Départ.ees

1.1. Coefficient U_{cg} au centre du vitrage (sans ensoleillement, conditions hivernales)

Calculez, avec les relations données au cours, le coefficient U_{cg} (au centre du vitrage) et le profil de température de l'IGU dans les conditions hivernales du NFRC, et comparez vos valeurs avec WINDOW. On vous conseille d'utiliser EES, qui vous permettra d'obtenir les propriétés des couches d'air et d'argon et de résoudre un système d'équations non-linéaires facilement. Un fichier de départ est fourni sur Moodle, il contient déjà deux procédures pour calculer les coefficients de convection d'une plaque verticale (coefficient intérieur) et d'une cavité verticale (coefficient du « gap », la lame d'air ou d'argon entre les vitrages).

Y a-t-il des différences entre votre calcul et les résultats de WINDOW? Si oui, à quoi sont-elles dues?

1.2. Performance en présence d'ensoleillement et *SHGC* (conditions estivales)

Calculez, avec les relations données au cours, les températures des différentes surfaces de l'unité scellée dans les conditions d'été du NFRC. Vous devez modifier votre programme pour ajouter l'influence du rayonnement solaire absorbé dans chaque lame de verre. L'absorptance effective de chaque couche (en tenant compte des réflexions multiples) est donnée dans WINDOW (Onglet « Optical Data », Abs1 et Abs2). La transmittance globale dans la gamme solaire (T_{sol}) est également donnée. Vous pouvez supposer que l'absorption se produit au milieu de chaque lame de verre et distribuer la moitié du rayonnement absorbé sur chacune des faces. Par exemple pour la 2^{ème} lame de verre, une quantité d'énergie $Abs2 \cdot G_t/2$ sera injectée au nœud 3, et la même quantité sera injectée au nœud 4 (G_t est le rayonnement incident sur la fenêtre, qui vaut 783 W/m^2 dans les conditions NFRC).

Vous pouvez comparer vos résultats au profil de température donné par le logiciel WINDOW (onglet "Temperature data") pour valider votre modèle.

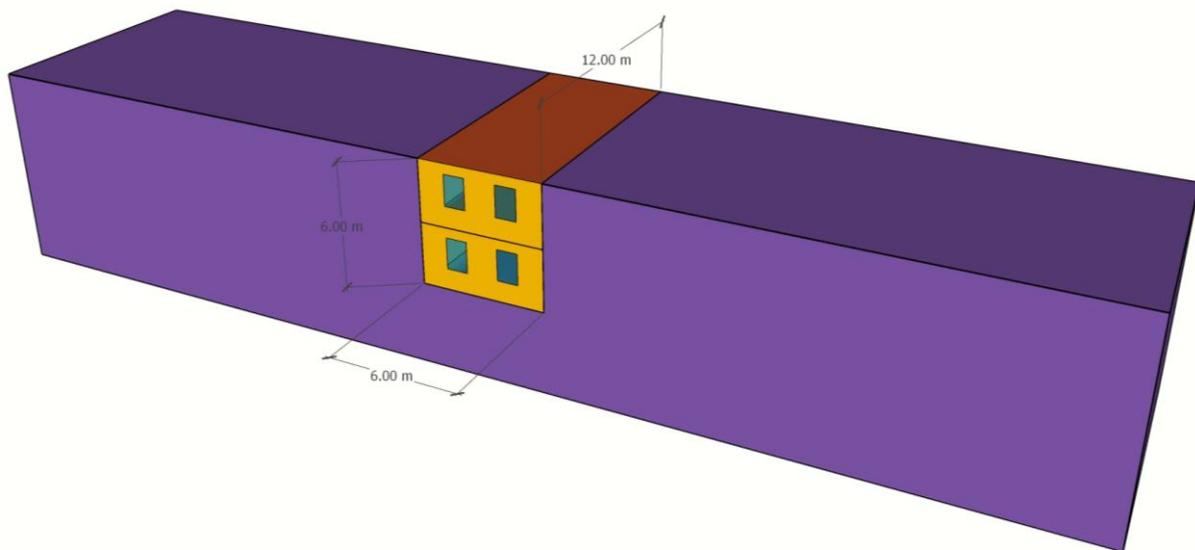
Calculez le *SHGC* de l'IGU. Pour ce faire, vous devez comparer le flux de chaleur total transféré par la fenêtre en présence d'ensoleillement à celui en l'absence d'ensoleillement:

- Calcul 1: imposer $G_t = 0$ dans les conditions d'été, calculer le flux de chaleur apporté par la fenêtre à la pièce (flux en W/m^2 transmis entre la dernière surface, #4, et l'intérieur, défini positivement vers la pièce pour ce calcul). Ceci donne $\dot{q}_{no\ sun}$.
- Calcul 2 : imposer $G_t = 783 \text{ W/m}^2$ dans les conditions d'été, calculer le flux de chaleur apporté par la fenêtre à la pièce (flux transmis à partir de la surface #4 **et rayonnement solaire transmis**). Ceci donne \dot{q}_{sun} .
- $SHGC = (\dot{q}_{sun} - \dot{q}_{no\ sun})/G_t$

2. Impact de la fenestration, de l'infiltration et de la ventilation naturelle sur un appartement

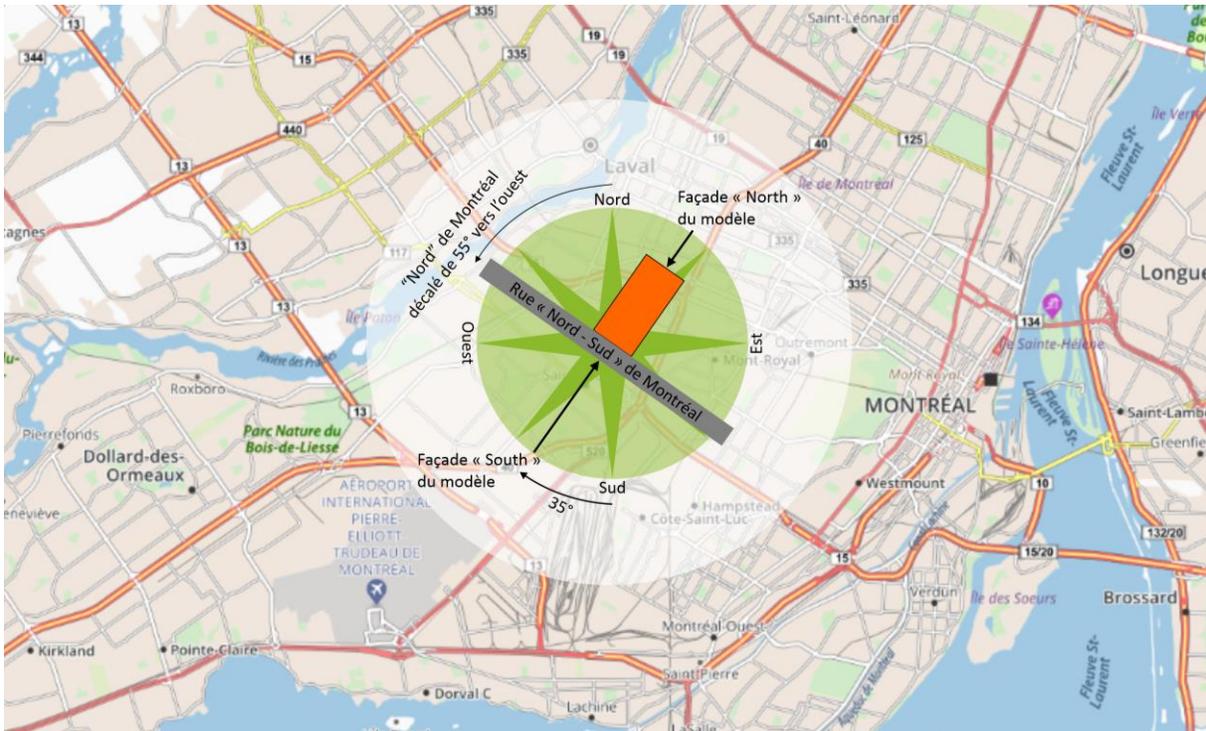
 Fichier de départ fourni sur Moodle : Devoir3-2.zip (avec les fichiers TRNSYS pour le cas de départ sans infiltration)

On modélise une unité d'une rangée de triplex typique de Montréal montrée à la Figure ci-dessous. On vous fournit un modèle du bâtiment dans le Type 56 de TRNSYS et un projet de départ. L'appartement modélisé est chauffé par des plinthes électriques et n'est pas climatisé.



L'appartement est situé sur 2 étages, au-dessus d'un commerce non-modélisé. Les dimensions extérieures de l'appartement sont : Largeur = 6 m, Hauteur = 6 m (2 x 3 m), et Profondeur = 12 m. La hauteur totale du bâtiment est de 10 m (le rez-de-chaussée commercial a une hauteur de 4 m). Les parties en mauve sur la figure représentent des bâtiments non-modélisés mais pris en compte pour l'ombrage (et vous pourrez voir dans TRNViewBUI que des rangées parallèles de bâtiments sont également représentées pour prendre en compte leur ombrage).

L'orientation du triplex est celle d'une rue typique « Nord – Sud » de Montréal, la façade visible sur le schéma étant la façade « Ouest » selon la dénomination habituelle des rues, mais qui est en fait orientée à 35° vers l'ouest à partir du sud. Dans le modèle, les façades ont les noms « south » et « north » qui correspondent mieux à leur orientation réelle.



Vous pouvez consulter le modèle fourni dans TRNBuild pour plus de détails sur les dimensions, les détails de construction, etc.

Une liste des variables est également fournie en Annexe.

2.1. Infiltration

Le modèle fourni ne comporte pas d'infiltration : le Type 56 est configuré avec 2 entrées, *achFlr1* et *achFlr2*, qui donnent respectivement le taux de changement d'air par heure [h^{-1}] du 1^{er} et du 2^{ème} étage, mais ces entrées ne sont pas connectées et sont laissées à zéro dans le fichier de départ (sans infiltration).

On a réalisé un test d'infiltrométrie pour l'appartement et on a trouvé les résultats suivants : $ACH_{50} = 6 h^{-1}$, et $n = 0.65$. On vous demande de comparer les résultats de 2 approches pour modéliser l'infiltration :

- L'approche simple de Kronvall-Persily
- Le modèle de Sherman-Grimsrud (SG). Pour ce modèle, vous devez utiliser le Type 75b (qui est dans *Loads and Structures\Infiltration\Sherman Grimsrud\RH inputs*). Vous pouvez considérer que le bâtiment est dans un environnement urbain ($\alpha = 0.22$, shelter class 4 pour le modèle SG). L'infiltration est calculée pour l'appartement seulement, donc on peut configurer le modèle pour un bâtiment de 2 étages (Paramètre 3, *Number of building stories*, = 2). Le modèle SG considère l'appartement dans son ensemble, donc on utilisera en entrée la température moyenne entre les 2 étages du bâtiment (variable *TdbAvg* qui est calculée dans le bloc d'équations *PostProc*), et on utilisera le taux d'infiltration calculé pour les 2 étages (en connectant la sortie du Type 75b à la fois à *achFlr1* et à *achFlr2*).

Comparez les résultats de ces 2 modèles et les résultats sans infiltration. Vous devez analyser les valeurs d'infiltration calculées, la puissance (et l'énergie) de chauffage et la puissance (et l'énergie) totale, ainsi que la surchauffe dans l'appartement. Pour quantifier cette surchauffe, on comptera les heures pendant lesquelles au moins un des étages dépasse 28 °C. Ceci est calculé dans le bloc d'équations en prenant le maximum des 2 températures et en créant une variable *overheating* qui vaut 1 si ce maximum est > 28 °C, 0 sinon (l'intégrale de cette variable donne donc le nombre d'heures en surchauffe).

2.2. Impact du type de fenêtre

Le fichier de départ utilise des fenêtres avec un double vitrage, correspondant au « WinID » 6506, avec un intercalaire isolé (Type « 4 » dans TRNBuild), et un cadre en fibre de verre / vinyle isolé avec un coefficient de déperdition U (sans les films intérieurs et extérieurs!) de $1.82 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Cet intercalaire et ce cadre sont très performants, vous ne devez pas les changer.

Vous pouvez changer le type de fenêtre dans TRNBuild en allant dans Windows, puis en sélectionnant soit « northWindow » soit « southWindow » et en cliquant sur le bouton « Pool », où vous aurez le choix entre les différents types de fenêtres décrits dans le tableau ci-dessous.

WinID	Description	Construction	U [W m ⁻² K ⁻¹]	SHGC [-]	τ_{vis} [-]
6501	Single Clear	4	5.49	0.808	0.905
6502	Double Clear Air	4/12/4	2.90	0.699	0.820
6503	Double Clear Argon	4/12/4	2.76	0.699	0.825
6504	Double Low-e #3 Air	4/12/4	1.59	0.431	0.719
6505	Double Low-e #2 Air	4/12/4	1.59	0.389	0.719
6506	Double Low-e #3 Argon	4/12/4	1.22	0.433	0.719
6507	Double Low-e #2 Argon	4/12/4	1.22	0.387	0.719
6508	Double Low-e Cool #3 Argon	4/12/4	1.19	0.342	0.523
6509	Double Low-e Cool #2 Argon	4/12/4	1.19	0.221	0.523
6510	Triple Low-e #2#5 High Gain	4/12.7/4/12.7/4	0.93	0.421	0.744

On vous demande de comparer quelques fenêtres et de recommander un choix en considérant les besoins en chauffage et les heures de surchauffe qui sont calculés par la simulation, **dans la version du modèle avec l'infiltration calculée par le modèle Sherman-Grimsrud.**

Note : La simulation produit un bilan d'énergie annuel de la zone dans le fichier « SUMMARY.BAL », et un bilan horaire dans le fichier « Energy_zone.BAL ». Les variables utilisées dans ces bilans sont décrites dans le manuel du Type 56 (Volume 5 du manuel TRNSYS, Voir la section 5.2.3.5.4, page 5-49). Le manuel est installé avec le logiciel dans C:\TRNSYS18\Documentation\05-MultizoneBuilding.pdf.

2.3. Stratégie de réduction de la surchauffe par ventilation naturelle et ombrage

Avec le modèle SG et les fenêtres choisies ci-dessus, explorez le potentiel d'ouvrir les fenêtres pour réduire le nombre d'heures de surchauffe, et si possible le ramener en-dessous de 200 h par an. On modélisera l'ouverture des fenêtres comme un agrandissement du ELA_4 – par exemple, une fenêtre de 1.5 m^2 ouverte à moitié donnerait une ELA_4 additionnelle de 0.75 m^2). Vous devrez choisir une stratégie d'ouverture des fenêtres, vous pouvez par exemple utiliser le Type166 (*Controllers\Simple thermostat*) pour commander cette ouverture. Vous pouvez également utiliser les dispositifs d'ombrage intérieur en modifiant les entrées *shadNorth* et *shadSouth* du modèle de bâtiment. Celles-ci ne sont pas connectées dans le fichier de départ, et elles valent 0, mais si vous les mettez à 1 avec un contrôle basé sur l'ensoleillement ou la température, cela modélisera des rideaux ou stores intérieurs fermés du côté nord / sud.

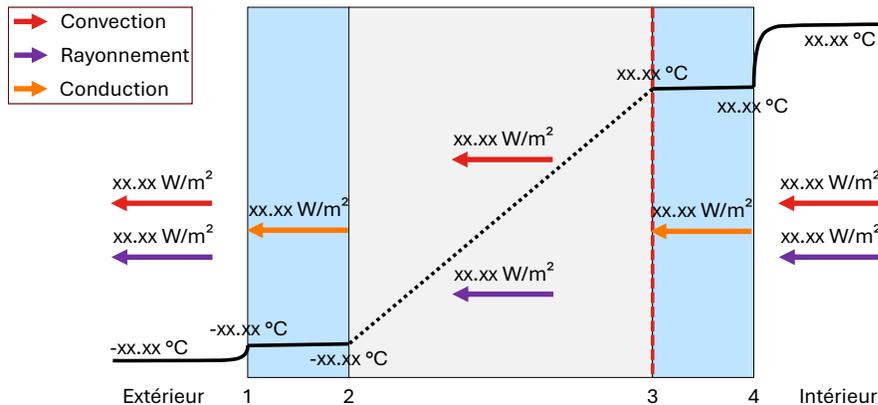
3. Rapport et fichiers à remettre

Remettez un rapport qui décrit vos résultats et vos analyses pour les parties 1 et 2. Vous devez également remettre des fichiers pour les parties 1.2 et 2.3. Le rapport ne devrait pas dépasser 8 pages au total.

Rapport pour la partie 1.1 (4 points)

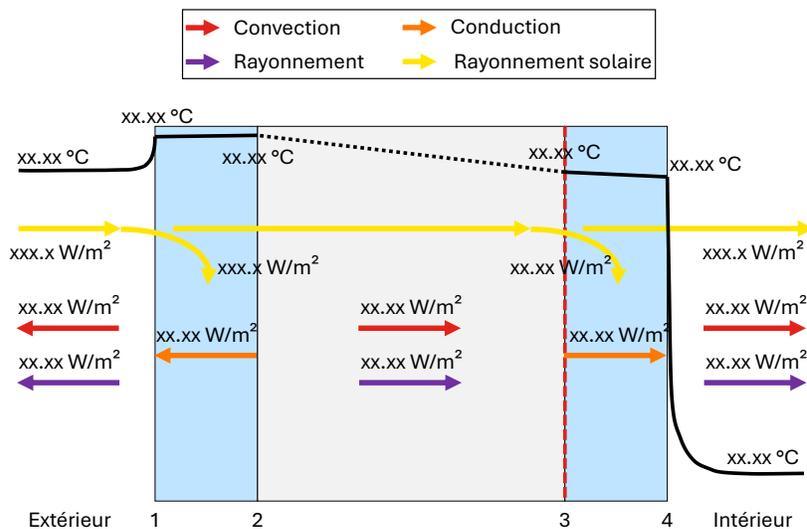
Présentez les résultats obtenus pour la partie 1.1 (coefficient U_{cg} + graphique avec profil de température et flux de chaleur) et discutez brièvement des différences entre EES et WINDOW, s'il y en a.

On demande de présenter une figure semblable à celle-ci-dessous (vous pouvez aussi présenter 2 figures, une avec les températures et une avec les flux de chaleur).



Rapport et fichier(s) à remettre pour la partie 1.2 (4 points)

Présentez les résultats obtenus pour la partie 1.2 (coefficient $SHGC$ + graphique avec profil de température) et discutez brièvement des différences potentielles entre EES et WINDOW. Représentez les flux de chaleur calculés sur un schéma de l'IGU. On demande de présenter une figure semblable à celle-ci-dessous (vous pouvez aussi présenter 2 figures séparées, une avec les températures et une avec les flux de chaleur).



Vous devez également remettre votre programme de calcul (fichier EES ou autre) pour le calcul du SHGC de l'IGU (partie 1.2). Si vous utilisez des fichiers différents, par exemple pour calculer $\dot{q}_{no\ sun}$ et \dot{q}_{sun} , vous devez remettre tous les fichiers en expliquant comment le SHGC est calculé à partir des différents résultats. Veillez à nommer vos fichiers clairement – il n'y a pas besoin d'indiquer votre nom dans les fichiers remis, ils sont automatiquement enregistrés à votre nom dans Moodle.

Rapport pour la partie 2.1 (4 points)

Présentez une comparaison des consommations / puissances en chauffage et de la surchauffe en fonction des différentes hypothèses de modélisation de l'infiltration (détaillez les paramètres que vous avez utilisés pour le modèle SG et comment vous les avez obtenus). Discutez des différences entre les approches de modélisation à l'aide des résultats annuels et, lorsque c'est pertinent, de journées sélectionnées.

Rapport pour la partie 2.2 (4 points)

Présentez les résultats obtenus pour la fenêtre de départ et celle(s) que vous recommandez. Analysez l'impact du changement de fenêtre en présentant des résultats annuels de consommation de chauffage et de surchauffe, et en présentant des journées typiques chaude / froide. Vous pouvez également vous servir du bilan d'énergie des zones. Expliquez pourquoi vous avez choisi une fenêtre (ou des fenêtres différentes) en particulier.

Rapport et fichiers TRNSYS pour la partie 2.3 (4 points)

Présentez une analyse des résultats de vos essais pour diminuer la surchauffe grâce à la ventilation naturelle, et éventuellement aux stores intérieurs.

Vous devez aussi rendre le projet TRNSYS final (qui utilise le modèle SG, avec la ou les fenêtres recommandée(s) et qui minimise la surchauffe) sur Moodle (placez tous les fichiers nécessaires dans une archive .zip).

Annexe 1 : captures d'écran du logiciel WINDOW pour la partie 1

Unité scellée : Double vitrage avec 1 panneau Id 4492 (Planibel Clearlite 4 mm) côté extérieur et un panneau Id 4453 (iplus Top 1.1T on Clearlite 4 mm) côté intérieur, espace d'argon de 12 mm (le film à basse émissivité du vitrage intérieur est installé sur la face #3)

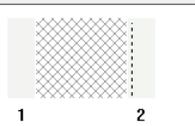
ID #: 6522 Name: ENE6510 Devoir 3 H25 - (double low-e #3 argon)

2 Tilt: 90 ° IG Height: 1500.00 mm

Environmental Conditions: NFRC 100-2010 IG Width: 1000.00 mm

Comment:

Overall thickness: 19.700 mm Mode: #



	ID	Name	Mode	Thick	Flip	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Tir	E1	E2	Cond
Glass 1	4492	clearlite_4.gvb	#	3.9	<input type="checkbox"/>	0.871	0.076	0.076	0.903	0.080	0.080	0.000	0.840	0.840	1.000
Gap 1	2	Argon		12.0											
Glass 2	4453	top11tonclearlite_4.gvb	#	3.9	<input type="checkbox"/>	0.639	0.286	0.248	0.909	0.048	0.054	0.000	0.042	0.841	1.000

Center of Glass Results | Temperature Data | Optical Data | Angular Data | Color Properties | Radiance Results

	Layer 1			Layer 2		Inside Air
	Outside Air	Outer Surface	Inner Surface	Outer Surface	Inner Surface	
Ufactor	-18.0	-16.2	-16.0	13.0	13.2	21.0
SHGC	32.0	34.4	34.5	31.7	31.6	24.0

Center of Glass Results | Temperature Data | Optical Data | Angular Data | Color Properties | Radiance Results

Ufactor	SC	SHGC	Rel. Ht. Gain	Tvis	Keff	Layer 1 Keff	Gap 1 Keff	Layer 2 Keff
W/m2-K			W/m2		W/m-K	W/m-K	W/m-K	W/m-K
				0.824	0.0356	1.0000	0.0220	1.0000

Center of Glass Results | Temperature Data | Optical Data | Angular Data | Color Properties | Radiance Results

Visible			Solar					UV		
Tvis	Rfvis	Rbvis	Tsol	Rfsol	Rbsol	Abs1	Abs2	Tdw-K	Tdw-ISO	Tuv
0.8236	0.1198	0.1205	0.5692	0.2952	0.2864	0.0703	0.0653	0.5540	0.7188	0.4884

Annexe 2 : Description des variables dans la simulation de la partie 2

Variables de sortie (online plotter & printer)

Note : la plupart des variables sont calculées dans le bloc d'équation « PostProc », et les puissances sont converties dans ce bloc depuis les unités habituelles dans TRNSYS (kJ/h) vers des kW.

Variable	Unités	Int	Description
TdbFlr1	°C		Température (sèche) de l'étage 1
TdbFlr2	°C		Température (sèche) de l'étage 2
TdbAmb	°C		Température (sèche) ambiante (extérieure)
PHeat	kW	1	Puissance de chauffage (total pour les 2 étages)
PDhw	kW	1	Puissance appelée pour le chauffage de l'eau chaude domestique
PAppLightPlug	kW	1	Puissance appelée par l'éclairage et tous les appareils
PTot	kW	1	Puissance totale appelée par l'appartement
G	kW m ⁻²		Ensoleillement total (global) horizontal
overheating	-	1	Indicateur de surchauffe (1 si au moins un des étages est à une température > 28 °C, 0 sinon)
achFlr1	h ⁻¹	1	Taux d'infiltration (changement d'air par heure), étage 1
achFlr2	h ⁻¹	1	Taux d'infiltration (changement d'air par heure), étage 1

Le fichier de sortie « ***-summary.txt » donne des statistiques pour les variables qui ont un « 1 » dans la colonne Int. Les valeurs maximales et minimales ont les mêmes unités que dans les tableaux, les intégrales mensuelles et annuelles sont intégrées avec le pas de temps en heure (donc par exemple l'intégrale de PHeat est en kW*h, c'est-à-dire en kWh. L'intégrale de l'indicateur « overheating » est donnée en heures.

Entrées non-standard du modèle de bâtiment (Type 56)

Variable	Unités	Description
PStove	W	Puissance électrique appelée par la cuisinière
PDishwasher	W	Puissance électrique appelée par le lave-vaisselle
PFridge	W	Puissance électrique appelée par le réfrigérateur
PClothWasher	W	Puissance électrique appelée par lave-linge
PDryer	W	Puissance électrique appelée par le sèche-linge
PLightPlug1st	W	Puiss, élect, appelée par l'éclairage et les charges aux prises (Étage 1)
PLightPlug2nd	W	Puiss, élect, appelée par l'éclairage et les charges aux prises (Étage 2)
QDhwLoss	W	Puissance thermique perdue par le réservoir d'eau chaude
occup1st	-	Nombre d'occupants à l'étage 1
occup2nd	-	Nombre d'occupants à l'étage 2
TSetHeat	°C	Consigne de température pour le chauffage
achFlr1	h ⁻¹	Taux d'infiltration (changement d'air par heure), étage 1
achFlr2	h ⁻¹	Taux d'infiltration (changement d'air par heure), étage 1
shadNorth	-	Signal d'activation de l'ombrage intérieur, côté nord (optionnel pour partie 2.3)
shadSouth	-	Signal d'activation de l'ombrage intérieur, côté sud (optionnel pour partie 2.3)