

Rapport à remettre par Moodle au plus tard le mercredi 29 janvier à 18:00  
Pondération : voir plan de cours (tous les devoirs ont le même poids)  
Ce devoir doit être réalisé individuellement

Révision : 2025-01-12

## Modélisation d'un bâtiment mono-zone (bureau)

Le bâtiment modélisé est un simple bureau, représenté ci-dessous.

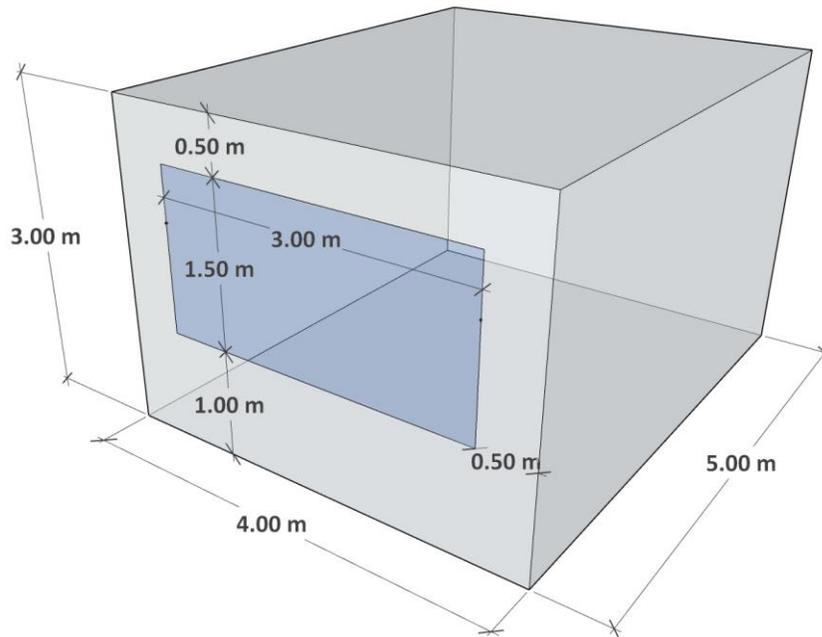


Figure 1 : Bâtiment mono-zone modélisé

Toutes les parois sauf le sol sont en contact avec les conditions extérieures. Pour simplifier, on suppose que le sol est à une température constante de 10 °C. Les détails de construction et les principales hypothèses de modélisation sont donnés ci-dessous.

### Hypothèses de modélisation

#### Parois

Les types de parois définis dans le modèle sont donnés au Tableau 1. Pour chaque paroi, on donne la liste des différentes couches (matériaux) qui la constituent, ainsi que l'épaisseur du matériau. Certaines couches sont modélisées comme des résistances sans masse thermique. Pour celles-ci, on ne doit pas donner d'épaisseur et on indique seulement (R). Ces couches sont utilisées pour les matériaux qui ont une capacité thermique très faible (par exemple couches d'air et la plupart des isolants) et permettent également d'adapter facilement la résistance thermique d'une paroi pour des comparaisons.

Tableau 1 : Parois (*Constructions*) dans le modèle

Paroi	Description	Couches, front → back (épaisseur en m)
GROUND_FLOOR	Sol	StandardConcrete (0.20), XpsInsulation (0.06)
EXT_WALL	Murs extérieurs	StandardConcrete (0.20), XpsInsulation (0.06)
EXT_WINDOW1	Fenêtres	Vitrage : Glass (0.004), airGap (0.012), glass (0.004) Cadre : Résistance thermique de $0.2 \text{ m}^2 \text{ K}^{-1} \text{ W}^{-1}$ sans les films
EXT_ROOF	Toiture	StandardConcrete (0.20), XpsInsulation (0.06)

#### Infiltration

On suppose que le taux d'infiltration d'air vaut  $0.1 \text{ h}^{-1}$ . Ceci signifie que le volume de la pièce est remplacé une fois toutes les 10 heures, ou encore que le débit d'air d'infiltration vaut  $0.1 * volume = 0.1 * 60 = 6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0.00167 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

#### Ventilation

Le système de ventilation fournit un débit nominal de  $8.5 \text{ L/s}$ , modulé par un horaire. L'air est prétraité par un échangeur récupérateur de chaleur qui a une efficacité de  $0.7$ .

#### Gains internes

On suppose qu'il y a un occupant dans le bureau, et qu'il dégage  $115 \text{ W}$  de chaleur (assis, travail léger), dont  $70 \text{ W}$  de chaleur sensible et  $45 \text{ W}$  de chaleur latente (exprimés comme un dégagement de vapeur d'eau de  $0.066 \text{ kg/h}$  en utilisant la chaleur latente de vaporisation de l'eau de  $2454 \text{ kJ/kg}$ ). Sa présence est modulée par un horaire.

L'éclairage a une densité de puissance de  $10 \text{ W/m}^2$ , soit une puissance pour le bureau de  $200 \text{ W}$ , modulée par un horaire.

Les équipements ont une densité de puissance de  $10 \text{ W/m}^2$ , soit une puissance pour le bureau de  $200 \text{ W}$ , modulée par un horaire.

#### Chauffage et climatisation

Le chauffage et la climatisation sont assurés par des systèmes idéalisés qui appliquent des consignes modulées par un horaire.

#### Données météorologiques

Le fichier utilisé est celui d'une année typique pour la station McTavish, au centre-ville de Montréal. La simulation utilise un pas de temps de  $15 \text{ min}$  ( $0.25 \text{ h}$ ).

# 1. Comparaison entre deux types de structure

 Fichiers de départ fournis sur Moodle pour la partie 1 :

- `Devoir1-1-TRNSYS.zip` : archive avec tous les fichiers nécessaires pour exécuter les simulations TRNSYS. Il suffit de décompresser l'archive et d'ouvrir les projets (.tpf) dans le répertoire « `Devoir1-1-TRNSYS` » créé.

Vous devez créer une variante du modèle de départ qui inverse les couches des parois en plaçant l'isolant à l'intérieur de la structure au lieu de le placer à l'extérieur. Pour cela, vous devez éditer chaque type de paroi dans TRNBuild. Le plus simple est d'ajouter une couche de béton de 20 cm à la fin de la liste (qui correspond à l'extérieur du mur), puis de supprimer la première couche de béton. Enregistrez le fichier .b18 avec un autre nom et créez une variante du projet TRNSYS (.tpf) qui utilise ce fichier.

Présentez une comparaison des résultats et une discussion des différences constatées. À quoi peuvent-elles être attribuées? Pour analyser les différences, vous devez regarder non-seulement les valeurs annuelles mais également les valeurs quart-horaires, en essayant de trouver des journées pendant lesquelles les différences sont plus marquées. Vous pouvez également considérer le comportement des températures pour guider votre analyse.

## Variables de sortie utiles pour l'analyse

La simulation fournit des variables de sortie dans le fichier « `SingleOffice.txt` ». Ces variables sont détaillées ci-dessous.

Variable	Unités	Description
TdbOffice	°C	Température (sèche de l'air) dans le bureau
TdbAmb	°C	Température (sèche de l'air) ambiante
QHeat	kJ/h	Puissance de chauffage
QCool	kJ/h	Puissance de refroidissement
QInf	kJ/h	Puissance thermique gagnée (+) ou perdue (-) par infiltration d'air non-contrôlée
QVent	kJ/h	Puissance thermique gagnée (+) ou perdue (-) par ventilation
QTrans	kJ/h	Puissance thermique gagnée (+) ou perdue (-) par transmission vers les parois de la zone
QGInt	kJ/h	Puissance thermique gagnée (+) ou perdue (-) par les gains internes (occupants, éclairage, équipement)
QSol	kJ/h	Gains solaires dans la zone (puissance thermique gagnée grâce au rayonnement solaire qui rentre dans la zone)
dQdtOffice	kJ/h	Variation de l'énergie interne de la zone

Toutes les variables en kJ/h participent au bilan thermique de la zone, qui sera également considéré dans la partie 2. Elles sont décrites à la section 5.2.3.5.4 du manuel du Type 56 (page 5-48). Le manuel est installé avec TRNSYS : C:\TRNSYS18\Documentation\05-MultizoneBuilding.pdf

Attention, ces variables ne sont pas converties ici, donc les unités sont des kJ/h. Pour obtenir l'énergie totale annuelle, on doit faire l'intégrale des puissances, ce qui revient à sommer les valeurs obtenues en les multipliant par le pas de temps. Ici, chaque ligne du fichier de sortie correspond à 15 min (0.25 h), donc pour obtenir l'énergie de chauffage, par exemple, il faut sommer les 35040 lignes qui donnent des kJ/h, et multiplier le résultat par 0.25 h, pour obtenir la somme en kJ.

Pour vérifier vos résultats, vous pouvez consulter le fichier « summary.bal » (fichier au format texte créé automatiquement avec le bilan d'énergie de chaque zone pour toute la durée de la simulation).

## 2. Heat Balance Method (HBM) : bilans des surfaces et de la zone

On considère le même bureau que pour la partie 1. Les surfaces (plancher, mur du fond, toit, etc.) sont associées à des numéros qui sont représentés à la Figure 2. Le plancher est la surface n° 1, le mur du fond (Nord) est la surface 2, le mur Est correspond à la surface 3, le mur Ouest est la surface n°6, le mur Sud (autour de la fenêtre) est la surface n°4, et la fenêtre a le n° 5.

Toutes les parois opaques sont identiques et consistent en une couche de blocs de béton (0.2 m) à l'intérieur et une couche d'isolant (0.06 m) à l'extérieur. Les propriétés thermiques des matériaux (incluant l'émissivité des surfaces) et les coefficients de convection utilisés sont spécifiés dans le modèle TRNSYS fourni sur Moodle, vous devez les récupérer dans le fichier décrivant le bâtiment (SingleOffice-DetailedSurfaceBalance.b18).

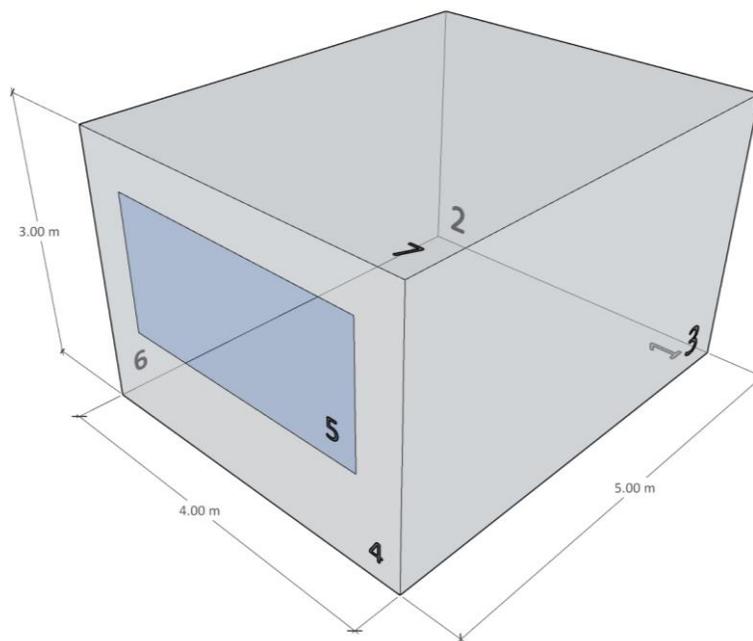


Figure 2 : Prototype de bureau

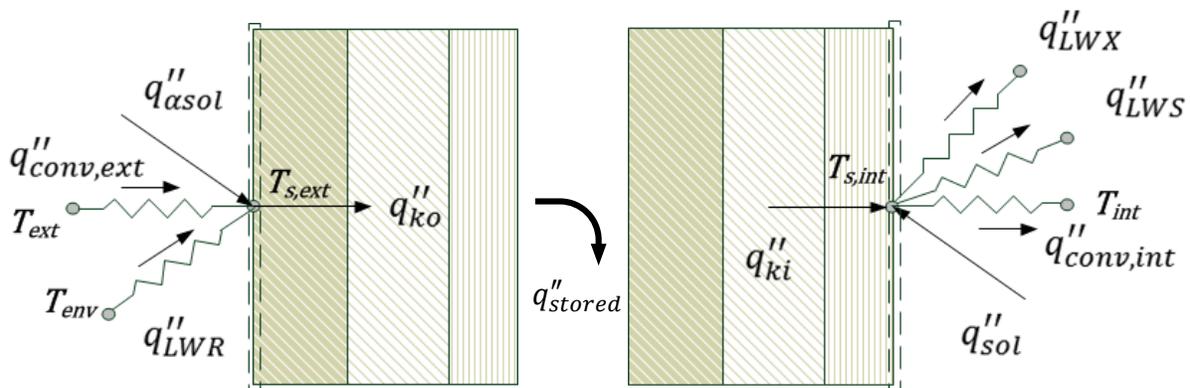
Fichiers de départ fournis sur Moodle pour la partie 2 :

- `Devoir1-2-TRNSYS.zip` : archive avec tous les fichiers nécessaires pour exécuter les simulations TRNSYS. Le modèle TRNSYS vous servira de référence pour obtenir certains paramètres du bureau, comme les propriétés thermiques des parois, les émissivités, et les coefficients de convection.
- `Devoir-1-2-Bilans-thermiques.pdf` : document décrivant les sorties du modèle de bâtiment (Type 56) et les variables du projet TRNSYS utilisées
- `Devoir-1-2-BilanRadiatifIntérieur.ees` : Données de départ pour le calcul du bilan radiatif avec la méthode des radiosités. Vous n'êtes pas obligé-es d'utiliser EES, vous pouvez simplement récupérer la matrice des facteurs de forme pour vos calculs.

Le projet fourni exécute une simulation annuelle. On vous demande de calculer un bilan détaillé des surfaces intérieure et extérieure de la paroi 3 (mur Est), ainsi que le bilan de l'air de la zone, à l'heure 543, qui correspond au 23 janvier à 15 h (comme on a un pas de temps de 15 minutes, les valeurs rapportées à 15 h sont les moyennes entre 14 h 45 et 15 h).

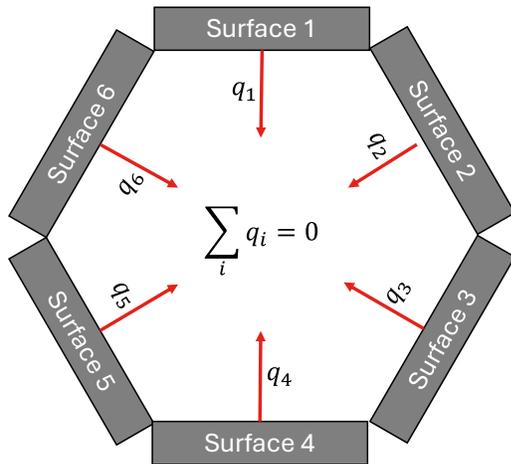
### 2.1. Bilans des surfaces extérieure et intérieure d'une paroi

Représentez tous les flux entrants/sortants dans la surface extérieure et le flux par conduction à la surface, et faire la même chose pour la surface intérieure. Vous devez également quantifier la quantité d'énergie stockée par unité de temps dans la paroi. Présentez le bilan de la paroi 3 en  $\text{W m}^{-2}$  dans une figure qui comprend toutes les quantités indiquées ci-dessous.



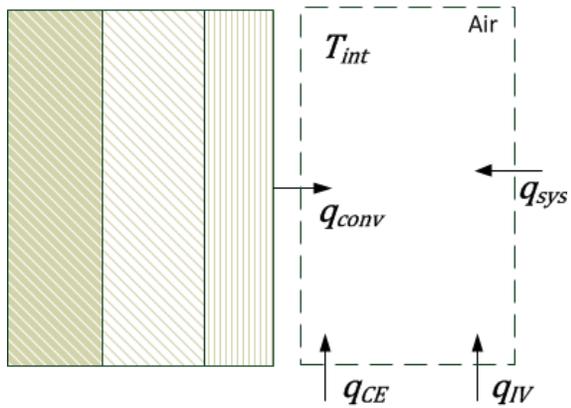
Pour calculer ce bilan de la surface 3 du côté intérieur, vous devez utiliser la méthode des radiosités et calculer le bilan radiatif de grandes longueurs d'onde entre toutes les surfaces intérieures. Ne pas confondre flux par unité de surface ( $q''_{LWX,i}$ , en  $\text{W m}^{-2}$ ) avec puissance nette rayonnée ( $q_{LWX,i}$ , en W).

Présentez ce bilan des surfaces en W dans une figure qui comprend toutes les quantités indiquées ci-dessous (la figure a 6 surfaces, vous devrez en représenter 7).



## 2.2. Bilan thermique de la zone

Représentez toutes les puissances thermiques échangées avec l'air de la zone, en W, dans une figure qui comprend toutes les quantités indiquées ci-dessous.



### 3. Rapport et fichiers à remettre

Remettez un rapport de 6 pages maximum qui décrit vos résultats et vos analyses pour les parties 1 et 2.

- Partie 1 (2-3 pages, 10 points) : présentez de manière concise vos résultats de la comparaison entre les variantes (isolant à l'intérieur ou à l'extérieur). Discutez des différences constatées (ce qui inclut une illustration du comportement dynamique pour les besoins en chauffage et en climatisation, et pas seulement les valeurs annuelles).
- Partie 2 (2-3 pages, 10 points) : Présentez de manière concise vos résultats des bilans des surfaces et de la zone. Pour les bilans des surfaces de la paroi, les résultats pourront être présentés sur un schéma récapitulatif donnant tous les transferts de chaleur en  $W\ m^{-2}$ , y compris la chaleur (dé)stockée. Vous devez également expliquer la méthode suivie pour évaluer chaque transfert de chaleur, ainsi que présenter le bilan radiatif GLO de la zone (avec toutes les surfaces et les puissances échangées en W). Pour le bilan de l'air de la zone, présentez toutes les puissances échangées avec l'air en W.

Ajoutez une courte discussion expliquant pourquoi les transferts thermiques sont dans le sens calculé. Par exemple, pourquoi la paroi perd-elle ou gagne-t-elle de la chaleur par convection depuis la zone à ce pas de temps, pourquoi stocke-t-elle ou déstocke-t-elle de la chaleur à ce moment?

Vous devez également remettre par Moodle le code utilisé pour faire vos calculs du bilan radiatif GLO (partie 2).