

Rapport à remettre par Moodle au plus tard le vendredi 1<sup>er</sup> novembre à 18 h 00  
Pondération : voir plan de cours (tous les devoirs ont le même poids)  
Ce devoir peut être réalisé en équipe de 2 ou individuellement

Révision : 2024-10-10

## Objectifs

- Partie A : Étudier l'impact de différents paramètres de design sur un système solaire thermique (superficie des capteurs et volume de stockage)
- Partie B : Proposer un design pour un système solaire thermique avec une cible de fraction solaire
- Partie C : Proposer un design pour un système combinant le solaire thermique et le solaire photovoltaïque pour une résidence hors-réseau

## Bâtiment résidentiel étudié

Le bâtiment étudié est une maison unifamiliale à 3 étages, représentée à la Figure 1. La figure montre également le projet TRNSYS pour la partie « bâtiment » de la simulation. Le bâtiment lui-même est modélisé dans TRNSYS à l'aide du « Type 56 » (modèle multizone, composant « House » dans la figure). Le projet TRNSYS comprend des composants utilitaires (lecteur de fichier météo, lecteur de données pour les besoins des appareils et de l'éclairage et pour les besoins en eau chaude), des conditions aux limites précalculées pour le contact avec le sol, un composant qui calcule l'infiltration d'air, et un ventilateur avec récupération de chaleur (*heat recovery ventilator*, HRV).

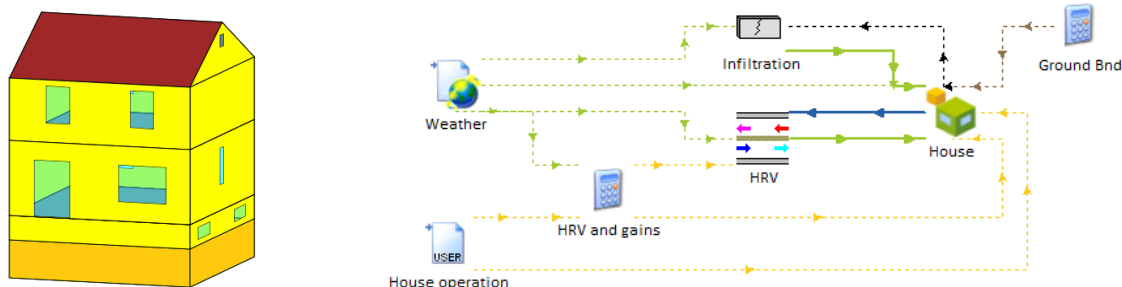


Figure 1 : Maison modélisée et projet TRNSYS

La consommation d'électricité pour les appareils et l'éclairage est de 15.0 GJ/an. Avec le fichier météo « CWEC 2023 » pour la station « Waterton Park Gate » en Alberta, les besoins en chauffage des espaces sont de 27.6 GJ/an, les besoins en eau chaude sont de 10.7 GJ/an, et les besoins (thermiques) en climatisation sont de 1.4 GJ/an. La climatisation est assurée par un climatiseur non-modélisé, on suppose que son *COP* vaut 2.5 (donc l'énergie électrique nécessaire pour climatiser est égale aux besoins thermiques en climatisation divisés par 2.5, et les besoins de 1.4 GJ/an correspondent à une consommation électrique de 0.5 GJ/an). Comme les pertes du réservoir solaire chauffent le sous-sol de la maison, les besoins en chauffage et en climatisation varient légèrement avec les configurations solaires.

## Système solaire thermique

Le système solaire thermique, représenté à la Figure 2, est un « combi-système » qui fournit à la fois une contribution au chauffage des espaces et à l'eau chaude domestique. Le réservoir de stockage (*Combitank*) contient de l'eau qui circule en circuit fermé dans le circuit de chauffage. Le circuit solaire est raccordé par un échangeur eau glycolée / eau à plaques situé à l'extérieur du réservoir (*Solar Hx*). L'eau chaude domestique circule dans un échangeur noyé en serpentin dans le réservoir, et l'appoint est réalisé par un chauffage direct électrique (*DHW Aux*). L'eau du réservoir est envoyée dans le réseau de chauffage, qui est également équipé d'un appoint (*Heat Aux*). La boucle de circulation avec l'échangeur solaire externe et la boucle de circulation du chauffage sont toutes deux raccordées à des entrées qui injectent automatiquement l'eau dans le réservoir dans le nœud (volume fini du modèle) à la température la plus proche du débit d'entrée. Ceci modélise des tuyaux d'injection à des hauteurs multiples pour favoriser la stratification (*stratifiers*).

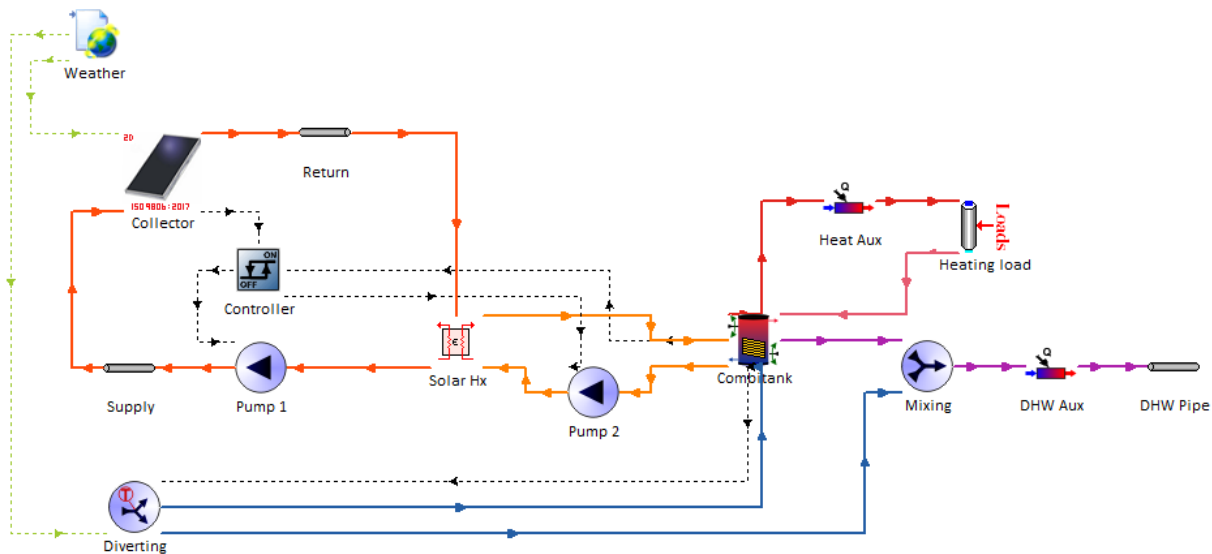


Figure 2 : Système solaire thermique pour l'eau chaude domestique et le chauffage des locaux

Le projet TRNSYS comprend un *online plotter* représentant certaines variables d'intérêt, et une imprimante qui fournit beaucoup plus de variables de sortie. Enfin, les variables utiles pour le calcul des indices de performance annuelle sont également intégrées et puis imprimées dans un fichier décrit dans un document séparé. Ce dernier fichier ne contient qu'une seule ligne par simulation, qui reprend les intégrales annuelles.

Notez que pour éviter de devoir ajuster itérativement les températures initiales du stockage, et pour éviter que celles-ci n'introduisent des erreurs dans les bilans annuels, on démarre la simulation avec un réservoir relativement chaud le 1<sup>er</sup> décembre (heure 8016 de l'année) et on exécute la simulation jusqu'à l'heure 17520 (fin de la deuxième année). L'intégrateur est paramétré pour se remettre à zéro à la fin de chaque année, il se remet donc à zéro à l'heure 8760 et les résultats intégrés représentent bien une année complète (de l'heure 8760 à l'heure 17520). On peut valider l'hypothèse en vérifiant que la variation

d'énergie interne du réservoir (dETank) est négligeable par rapport à l'énergie entrante dans le réservoir depuis la boucle solaire (QSolTank).

## Système solaire photovoltaïque

Le système photovoltaïque (PV), représenté à la Figure 3, comprend les panneaux PV, les batteries, et un régulateur / onduleur. Le bloc « Postproc » transfère les besoins en électricité du reste du système vers l'onduleur. Ce dernier calcule l'énergie manquante à chaque pas de temps et suppose que celle-ci sera comblée par le réseau (*grid*).

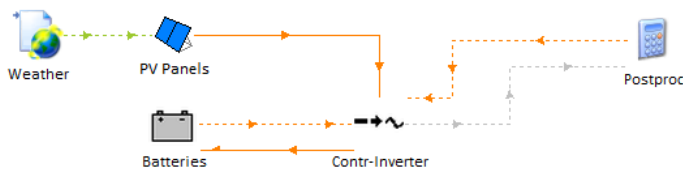


Figure 3 : Système solaire photovoltaïque

La même remarque que pour le système solaire thermique s'applique, on suppose un état de charge au 1<sup>er</sup> décembre et on exécute la simulation pour une année et un mois, en éliminant le mois de décembre. Dans le cas de capacités de stockage très importantes, il faudra valider l'hypothèse en comparant l'énergie (dé)stockée de la batterie (dEBat) à l'énergie fournie par l'onduleur (PLoad).

### 1. Partie A : impact de la superficie de capteurs et du volume de stockage sur la performance d'un système solaire thermique

On vous demande d'étudier l'évolution de certains critères de performance en fonction de la superficie brute de capteurs solaires ( $A_g$ ) et du volume spécifique de stockage ( $V_s$ , exprimé en litres de stockage par  $m^2$  de superficie de capteur).

Ces deux paramètres sont définis dans le bloc d'équations « Parameters ». Les autres paramètres du système s'adaptent automatiquement à partir de ces deux-là. En particulier, le volume de stockage, ses dimensions et son coefficient de déperditions thermiques sont calculés automatiquement. Pour les pertes thermiques, on suppose que les réservoirs sont dans la catégorie C de la norme EN 15332:2019, i.e. que les pertes thermiques peuvent s'écrire comme :

$$Q_{loss} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{day}} \right] = (8.5 + 4.5 \cdot (vol [L])^{0.4}) \cdot \frac{24}{1000} \quad (1)$$

où les pertes sont calculées pour une différence de 45 °C entre le réservoir et l'ambiance. Par exemple un réservoir de 500 L perdra 1.57 kWh par 24 h avec une différence de 45 °C. Notez que le coefficient utilisé dans le Type 1534 est défini en fonction de la surface intérieure du cylindre.

Vous devrez évaluer la fraction solaire thermique « totale nette », définie comme :

$$f_{sol,thermal} = 1 - \frac{Q_{aux}}{Q_{load}} = 1 - \frac{Q_{auxHeat} + Q_{auxDhw}}{Q_{HeatLoad} + Q_{DhwLoad}} \quad (2)$$

Où  $Q_{aux}$  est l'énergie thermique auxiliaire, et  $Q_{load}$  est l'énergie utile pour le chauffage des locaux et pour l'eau chaude. Les autres variables font référence aux noms dans le projet TRNSYS. Comme on suppose des appoints électriques avec une efficacité de 100 %, les quantités de chaleur ( $Q_{auxHeat}$  et  $Q_{auxDhw}$ ) sont égales aux consommations électriques ( $P_{auxheat}$  et  $P_{auxDhw}$ ).

Vous devrez également évaluer le rendement des capteurs solaires.

Calculez les indices de performance (fraction solaire thermique et rendement des capteurs) pour des superficies de capteurs de 10 m<sup>2</sup>, 20 m<sup>2</sup>, 50 m<sup>2</sup>, et 100 m<sup>2</sup>, en combinaison avec des volumes spécifiques de stockage de 5 L/m<sup>2</sup>, 20 L/m<sup>2</sup>, 100 L/m<sup>2</sup>, et 500 L/m<sup>2</sup> (16 simulations en tout).

L'orientation des capteurs est également un paramètre important du design d'un système, mais dans cette partie on conserve un azimut de 180° (vers le sud, 0° dans la convention de TRNSYS), et une pente de 45°, qui correspond à un toit avec une pente de 1:1.

Présentez les résultats sur des graphiques. Pour chaque indice de performance (fraction solaire nette et rendement des capteurs), vous pourrez par exemple représenter un graphique donnant sa valeur en fonction de la superficie des capteurs, avec 4 courbes représentant les 4 valeurs de volume spécifique. Ensuite, vous pourrez représenter un autre graphique donnant cette fois l'indice de performance en fonction du volume de stockage, avec 4 courbes représentant les 4 valeurs de superficie de capteur.

Vous pouvez également évaluer d'autres indices de performance (par exemple le rendement du système complet, le rendement du stockage thermique, etc.) pour illustrer vos discussions. Présentez les graphiques et analysez les résultats : qu'est-ce qui explique l'évolution des indices?

## 2. Partie B : Dimensionnement d'un système solaire thermique pour une cible de fraction solaire

En ne prenant en compte que les coûts des capteurs solaires, estimés à 1000 \$/m<sup>2</sup> de superficie brute, et les coûts du stockage, estimés à 6000 \$/m<sup>3</sup>, expliquez comment vous dimensionneriez un système avec une cible de 50 % de fraction solaire (note : ces coûts comprennent une estimation grossière des coûts d'installation et des accessoires). On ne demande pas une optimisation précise, mais plutôt des explications sur la méthode que vous avez suivie et une recommandation de dimensionnement, c'est-à-dire une valeur de  $A_g$  et une valeur de  $V_s$  qui permettent d'atteindre la cible de 50 % (ou de la dépasser légèrement).

Pour cette partie, vous pouvez également (mais vous ne devez pas) modifier la pente des panneaux. Trois valeurs suggérées sont 26.6° (qui correspond à une pente de 1:2), 45° (pente de 1:1) et 63.4° (pente de 2:1), mais vous pouvez explorer d'autres pentes.

### 3. Partie C : dimensionnement d'un système solaire thermique + photovoltaïque pour une résidence autonome

Le but du système photovoltaïque (PV) est d'assurer une autonomie par rapport au réseau. Notez que le système n'exporte pas d'électricité vers le réseau, il ne peut qu'en importer si les besoins ne peuvent pas être satisfaits. La variable correspondant à l'énergie importée est  $P_{grid}$ , qui ne peut qu'être positive.

#### 3.1. Indices de performance

Pour le système PV, La fraction solaire électrique est définie comme :

$$f_{sol,electrical} = 1 - \frac{P_{grid}}{P_{tot}} \quad (3)$$

Où  $P_{tot}$  est l'énergie électrique totale consommée par le système.

Le rendement des panneaux PV est défini comme « le rapport entre la puissance *disponible* à la sortie des panneaux et la puissance incidente ». Il dépend de l'ensoleillement et de la température des cellules, mais pas de ce qui se passe dans le système : si la puissance des panneaux n'est pas utilisée mais rejetée (*dumped*), le rendement des modules PV ne sera pas affecté. Il est plus intéressant de considérer le rendement du système PV complet, qu'on peut calculer comme le rapport entre l'énergie nette fournie par le système et l'énergie incidente sur les panneaux. Ce rendement sera bien sûr inférieur à celui des panneaux eux-mêmes. On peut le calculer par :

$$\eta_{sys} = \frac{P_{tot} - P_{grid}}{E_{incidente}} \quad (4)$$

Où  $E_{incidente}$  est l'énergie incidente sur les panneaux.

Vous pouvez également évaluer d'autres indices de performance pour illustrer vos discussions (par exemple la puissance perdue dans la batterie et l'onduleur, et la puissance rejetée (*dumped*) lorsque la batterie est pleine.

#### 3.2. Travail à faire

En prenant en compte les coûts des panneaux PV, estimés à 2 \$/W<sub>p</sub> (et donc 500 \$ par panneau de 250 W), les coûts des batteries, 750 \$/kWh, et les coûts du solaire thermique de la partie A, on vous demande de dimensionner un système atteignant une fraction solaire électrique de 100 % (vous devez choisir la puissance de panneaux PV, capacité des batteries, superficie des panneaux solaires thermiques, et volume de stockage). De légères erreurs d'arrondi sont acceptables, vous devrez vous assurer que  $P_{grid} \leq 0.1\%$  de  $P_{tot}$ .

Quantifiez les coûts d'installation de votre système en utilisant les coûts donnés, et justifiez votre choix de dimensionnement, en particulier le compromis entre solaire thermique et PV pour atteindre l'autonomie complète.

Représentez un bilan annuel du système conçu sous forme d'un diagramme de Sankey ou sous forme d'un schéma indiquant les quantités d'énergie échangées (voir présentation de rétroaction sur le devoir 1). Ce schéma doit couvrir les parties thermique et électrique.

Pour cette partie, vous pouvez également (mais vous ne devez pas) modifier la pente des panneaux. Trois valeurs suggérées sont 26.6° (qui correspond à une pente de 1:2), 45° (pente de 1:1) et 63.4° (pente de 2:1), mais vous pouvez explorer d'autres pentes. Il n'est pas impératif de respecter la superficie maximale du toit orienté vers le sud, mais vous pouvez considérer cet aspect dans votre dimensionnement.

## 4. Rapport et fichiers à remettre

Remettez un rapport au format PDF par Moodle avant la date indiquée au début du document.

Remettez également le projet TRNSYS avec votre design final pour la partie C.

Note : votre rapport devrait avoir 5 à 7 pages. Il devrait compter de 2000 à 2500 mots environ. La concision est un des critères de correction, vous serez pénalisé-e si vous soumettez un rapport inutilement long.

Barème de correction :

- Partie A
  - Résultats et graphiques : 3 points
  - Analyse (explications sur les courbes obtenues et les causes) : 2 points
- Partie B
  - Résultats et explication de la méthode suivie pour le dimensionnement : 5 points
- Partie C
  - Résultats et discussion de la méthode suivie pour le dimensionnement, y compris le compromis entre solaire thermique et photovoltaïque : 4 points
  - Diagramme de Sankey ou schéma indiquant les échanges d'énergie : 4 points
- Qualité générale du rapport (y compris la concision!) : 2 points

Des informations supplémentaires sur les variables de sortie des simulations sont disponibles sur Moodle. Un tutoriel sera également présenté sur la façon d'exécuter des études paramétriques avec TRNSYS, mais le but est de comprendre l'impact des différents paramètres de dimensionnement pour pouvoir guider la recherche d'un dimensionnement optimal, plutôt que d'exécuter un très grand nombre de simulations « à l'aveugle ».