

Modélisation pilote LNEG

1 Schéma général

On considère le système solaire décrit à la Figure 1.

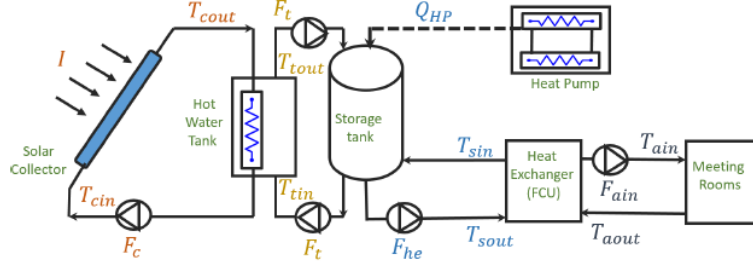


Figure 1. Synoptique du pilote.

L'échangeur thermique entre le circuit primaire du panneau solaire et le circuit secondaire amenant au système de stockage principal peut-être de différents types : échangeur co-courant, échangeur contre-courant et échangeur noyé dans un petit ballon de stockage.

2 Nomenclature

Partie à réaliser ! (voir code pour l'instant).

3 Modélisation mathématique du pilote

3.1 Modélisation du panneau solaire thermique

La modélisation du panneau solaire thermique répond à l'équation différentielle suivante d'après [1] :

$$\frac{dT_{cout}}{dt} = \left(\frac{A_c \cdot \eta}{\rho_c \cdot c \cdot V_c} \right) I - \frac{U_c \cdot A_c}{\rho_c \cdot c \cdot V_c} \left(\frac{T_{cin} + T_{cout}}{2} - T_{oa} \right) + \frac{F_c}{V_c} (T_{cin} - T_{cout}) \quad 1$$

3.2 Modélisation de l'échangeur thermique

Trois types d'échangeurs thermique possibles sont considérés :

3.2.1 Modèle co-courant

Le modèle co-courant suppose que les débits entrants évoluent en parallèle dans le même sens. Le modèle est obtenu directement à partir de celui décrit dans [2] :

$$\begin{cases} \frac{dT_{cin}}{dt} = \frac{F_c}{V_{ct}} (T_{cout} - T_{cin}) - U_t \cdot \frac{A_t}{\rho_c \cdot c_c \cdot V_{ct}} (T_{cin} - T_{tout}) \\ \frac{dT_{tout}}{dt} = \frac{F_t}{V_{ct}} (T_{tin} - T_{tout}) - U_t \cdot \frac{A_t}{\rho \cdot c \cdot V_{ct}} (T_{tout} - T_{cin}) \end{cases} \quad 2$$

3.2.2 Modèle contre-courant

Le modèle contre-courant suppose que les débits entrants évoluent en parallèle dans le sens contraire et se croisent. Le modèle est obtenu à partir de celui décrit dans [2] en considérant l'hypothèse qui est décrite dans les explications à savoir qu'il faut croiser, dans la seconde partie des équations, les températures d'échange. On a donc T_{tout} qui est remplacée dans la seconde partie de la première équation par T_{tin} et on a T_{cin} qui est remplacée dans la seconde partie de la seconde équation par T_{cout} . On obtient le modèle suivant :

$$\begin{cases} \frac{dT_{cin}}{dt} = \frac{F_c}{V_{ct}} (T_{cout} - T_{cin}) - U_t \cdot \frac{A_t}{\rho_c \cdot c_c \cdot V_{ct}} (T_{cin} - T_{tin}) \\ \frac{dT_{tout}}{dt} = \frac{F_t}{V_{ct}} (T_{tin} - T_{tout}) - U_t \cdot \frac{A_t}{\rho \cdot c \cdot V_{ct}} (T_{tout} - T_{cout}) \end{cases} \quad 3$$

3.2.3 Modèle avec échangeur noyé dans un ballon de stockage

Partie à réaliser !

4 Résultats de simulation

Les simulations sont réalisées avec Simulink dans lequel le modèle est implémenté dans une Sfunction. On considère les variables suivantes pour les simulations :

- I échelon de 1000 à 500 W/m².
- Température extérieure : $T_{oa} = 20$ °C
- Température entrante côté froid : $T_{tin} = 10$ °C
- Débit côté primaire : $F_c = 1,5 \cdot 10^{-5}$ m³/s
- Débit côté secondaire : $F_t = 1 \cdot 10^{-5}$ m³/s
- Initialisation : $T_{cout}(0) = T_{cin}(0) = 20$ °C et $T_{tout}(0) = 10$ °C.

4.1 Simulation du panneau solaire thermique

En considérant uniquement une variation de T_{cout} et les autres variables d'état constantes on obtient la simulation de la Figure 2.

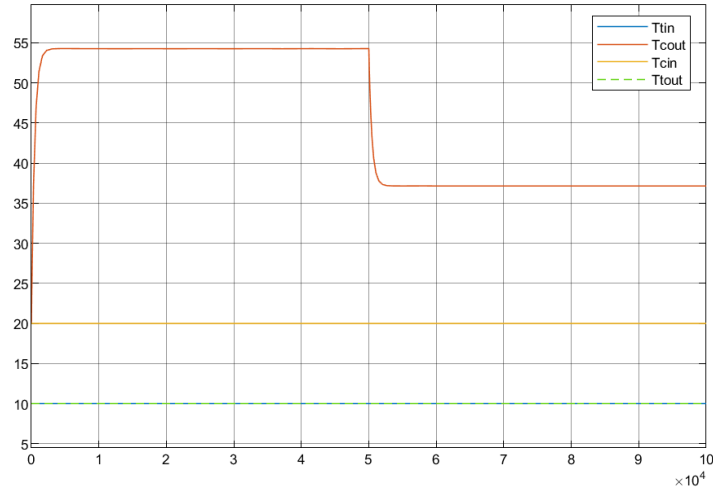


Figure 2. Simulation du panneau solaire thermique.

Le résultat est cohérent, la température de sortie T_{cout} varie linéairement en régime permanent en fonction de l'ensoleillement I (34 °C d'augmentation par 1000 W/m²).

4.2 Simulation de l'échangeur thermique

On considère ici seulement les équations différentielles de l'échangeur thermique. La variable d'état lié au panneau solaire T_{cout} reste constante.

4.2.1 Modèle co-courant

Avec le modèle co-courant on obtient la simulation de la Figure 3.

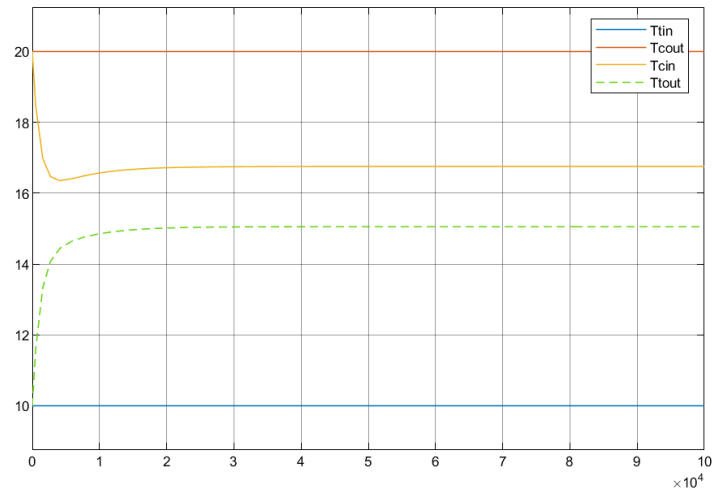


Figure 3. Simulation de l'échangeur thermique nominal en co-courant.

Le résultat semble cohérent, on a un échange de chaleur qui conduit à avoir T_{tout} qui se réchauffe et T_{cin} qui se refroidit pour atteindre un régime permanent avec $T_{cin} > T_{tout}$. On peut vérifier qu'avec une surface d'échange artificiellement augmentée (100 fois) on a le comportement de la Figure 4 où les deux températures de sortie tendent vers une asymptote égale dans un temps très court.

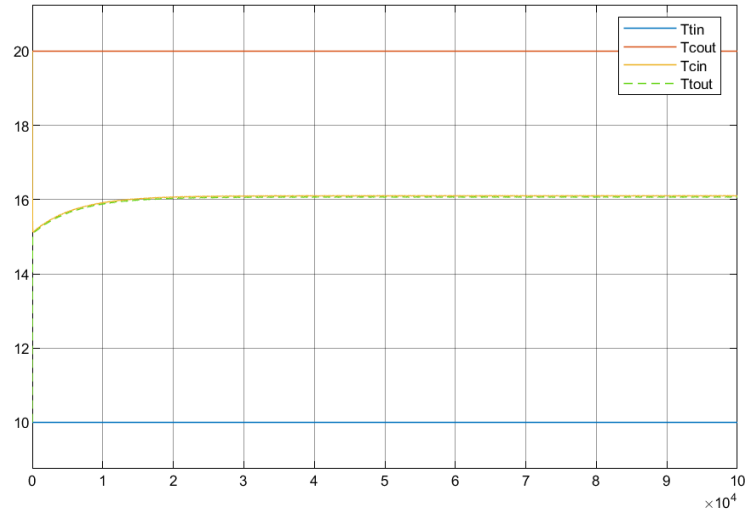


Figure 4. Simulation de l'échangeur thermique avec surface d'échange augmentée en co-courant.

4.2.2 Modèle contre-courant

Avec le modèle contre-courant on obtient la simulation de la Figure 5.

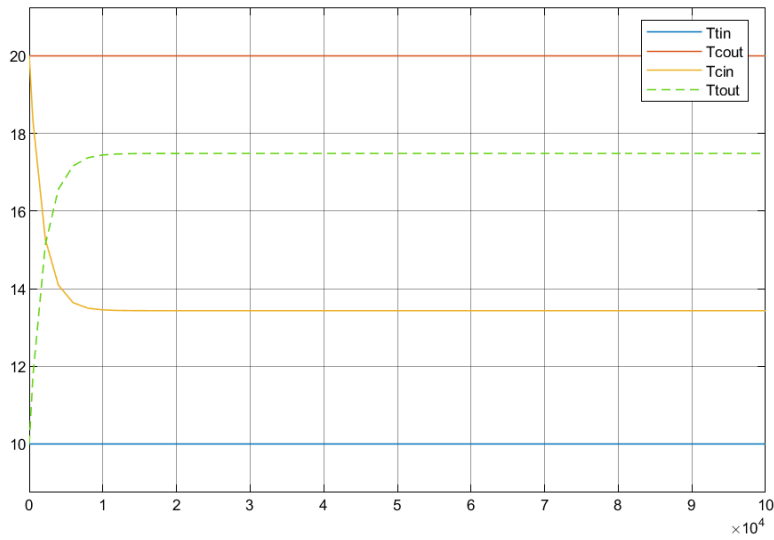


Figure 5. Simulation de l'échangeur thermique nominal en contre-courant.

Le résultat semble cohérent, on a un échange de chaleur qui conduit à avoir T_{tout} qui se réchauffe et T_{cin} qui se refroidit pour atteindre un régime permanent avec $T_{tout} > T_{cin}$. On peut vérifier qu'avec une surface d'échange artificiellement augmentée (100 fois) on a le comportement de la Figure 6 où les deux températures de sortie tendent vers les températures d'entrée opposées.

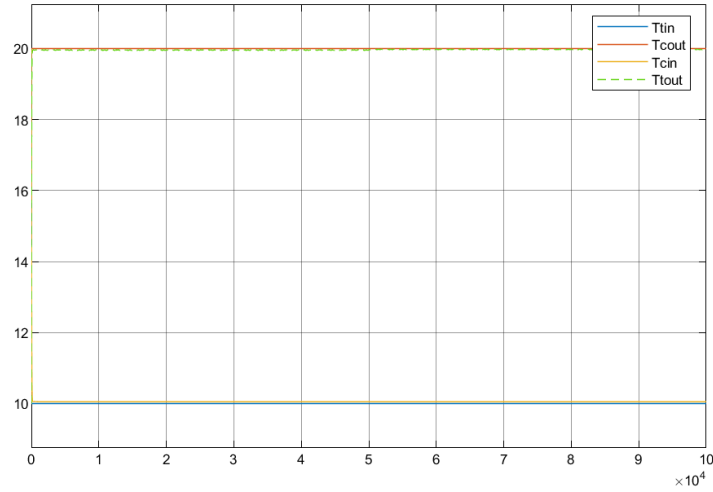


Figure 6. Simulation de l'échangeur thermique avec surface d'échange augmentée en contre-courant.

4.3 Simulation de l'échangeur thermique et du panneau solaire

4.3.1 Modèle co-courant

Avec le modèle co-courant de l'échangeur thermique et le panneau solaire thermique on obtient la simulation de la Figure 7.

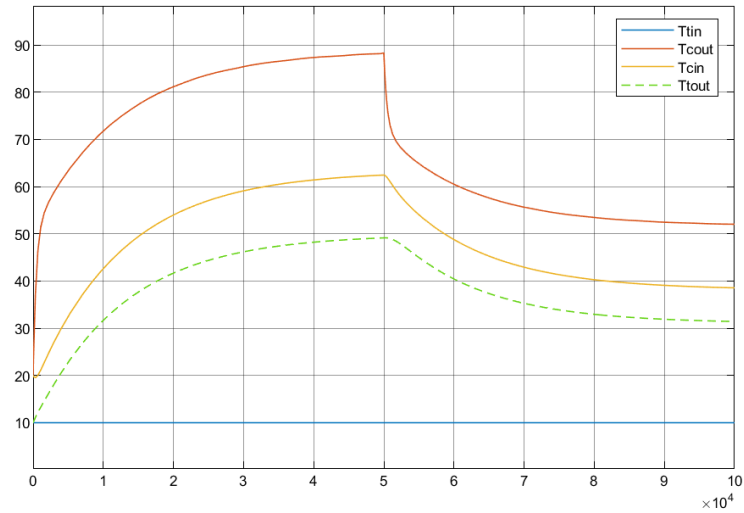


Figure 7. Simulation de l'échangeur thermique en co-courant et panneau solaire thermique.

4.3.2 Modèle contre-courant

Avec le modèle contre-courant de l'échangeur thermique et le panneau solaire thermique on obtient la simulation de la Figure 8.

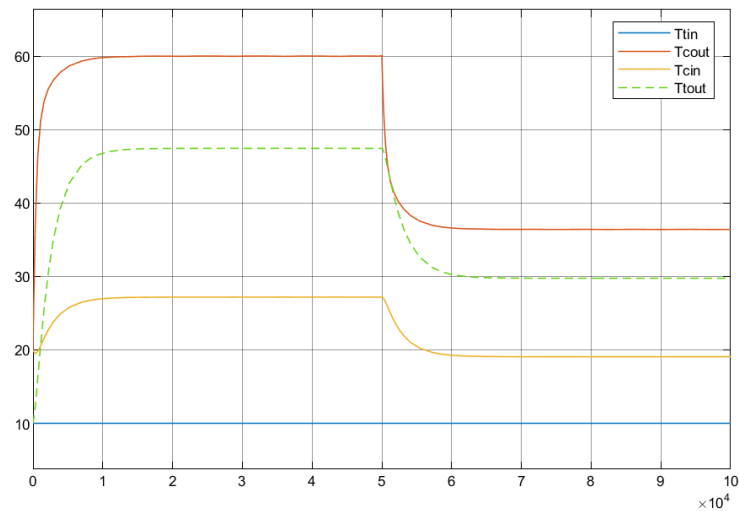


Figure 8. Simulation de l'échangeur thermique en contre-courant et panneau solaire thermique.

5 Bibliographie

- [1] J. Buzás, I. Farkas, A. Biró, and R. Németh. Modelling and simulation aspects of a solar hot water system. *Mathematics and Computers in Simulation*, 48(1):33–46, 1998.
- [2] Peter Woolf. *Chemical Process Dynamics and Controls*, chapter 6.6: ODE and Excel model of a Heat Exchanger, pages 321–328. 2021.