

ELEMENTS DE CORRECTION ACTIVITÉ 5

Simulation et discussion

Objectif : identifier les variables internes et externes d'un modèle, et simuler le comportement dynamique du chauffe-eau.

1.1 Le condensateur Csto rend compte de l'énergie stockée dans le ballon, en double-cliquant sur le composant on relève une valeur de capacité de 1 254 000 Farads qui correspond au terme $MC = 300 \times 4180$.

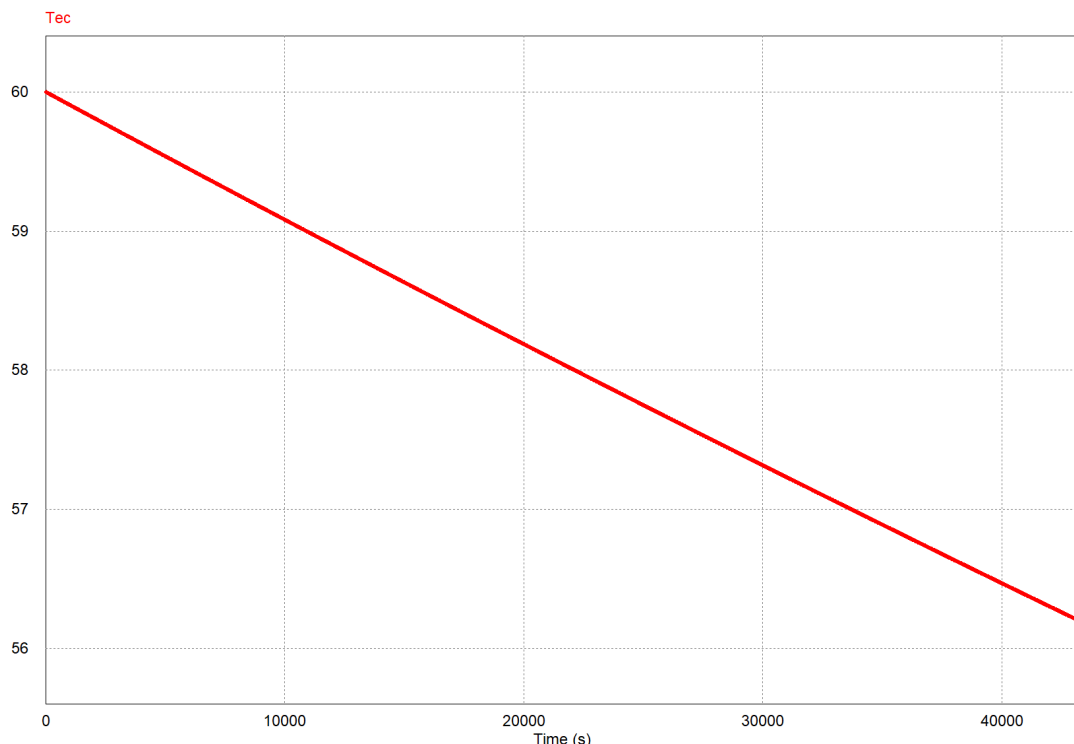
Pour ce qui est des pertes la résistance Rg rend compte des déperditions thermiques par conduction et convection avec le milieu ambiant.

L'irradiance solaire est obtenue par une source de courant commandée en tension.

1.2 Le soutirage d'eau chaude est élaboré à partir de l'équation : $-\dot{m}C(T_{ec} - T_{ef})$, voir le document réponse.

1.3 Il convient de mettre l'amplitude du générateur qui simule l'ensoleillement à 250, le débit à 0 et la valeur initiale de la tension aux bornes de Csto à 25. L'évolution de la température est conforme à l'étude théorique.

1.4 Après avoir mis l'amplitude du générateur d'ensoleillement à 0 et la valeur initiale de la température à 60 °C, on procède à la simulation. L'évolution de la température est la suivante :

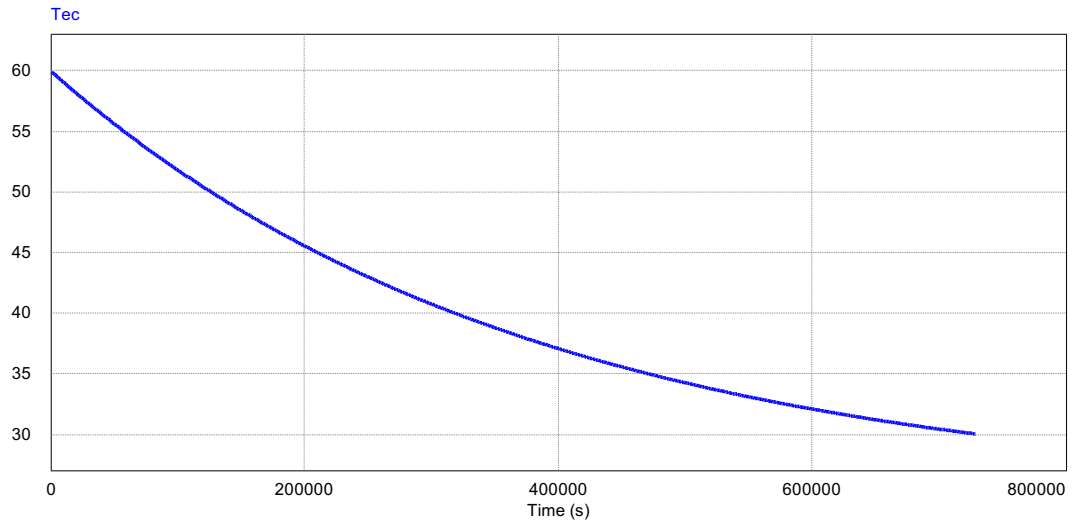


On retrouve bien au bout de 12 heures 56,2 °C. On a l'impression que l'évolution de la température est une droite.

Sur une plus longue période d'observation on observe bien la réponse en régime libre de type exponentielle :

ELEMENTS DE CORRECTION ACTIVITÉ 5

L'allure est consignée ci-dessous :



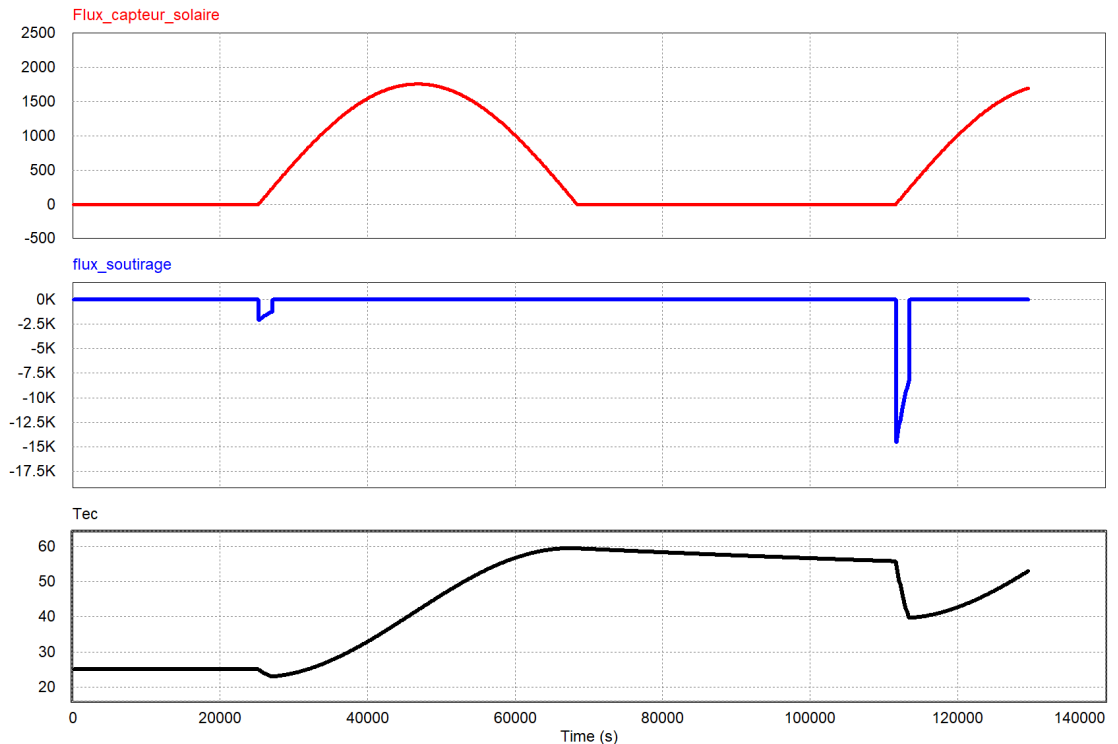
La température initiale est bien de 60 °C. On voit que la déperdition thermique par convection et par conduction engendre une baisse de la température de l'eau dans le ballon. La température finale tend vers la température ambiante sur une très longue période. On peut lire une température de 30 °C à 200 heures (environ 8 jours sans soleil).

1.5 Pour simuler l'ensoleillement, la tension de commande est générée par une sinusoïde d'amplitude 628 (correspond à $628 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) et une fréquence de $(1/86400) \text{ Hz}$. Un déphasage est appliqué pour tenir compte d'un lever du jour à 7 heures soit à 25 200 secondes. $\omega t_{dj} = \frac{2\pi}{86400} 7 * 3600 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ (T_{dj} instant de démarrage du jour) soit 105° . On retient que l'alternance positive grâce à la présence d'une diode, pour simuler l'absence d'irradiance.

Les différences avec ce modèle sont : la température ambiante varie de manière sinusoïdale autour d'une moyenne de 25 °C.

Le flux en sortie du capteur solaire est affecté de la surface des capteurs et du rendement.

ELEMENTS DE CORRECTION ACTIVITÉ 5



On observe bien une évolution sinusoïdale de l'ensoleillement, on a gardé que l'alternance positive (12H d'ensoleillement). Le flux solaire issu des capteurs démarre bien à 7H.

Au démarrage on puise de l'eau dans le ballon, mais on observe que compte-tenu de l'ensoleillement qui est encore faible, l'eau n'a pas le temps de monter en température, au contraire elle diminue vers la température d'eau froide.

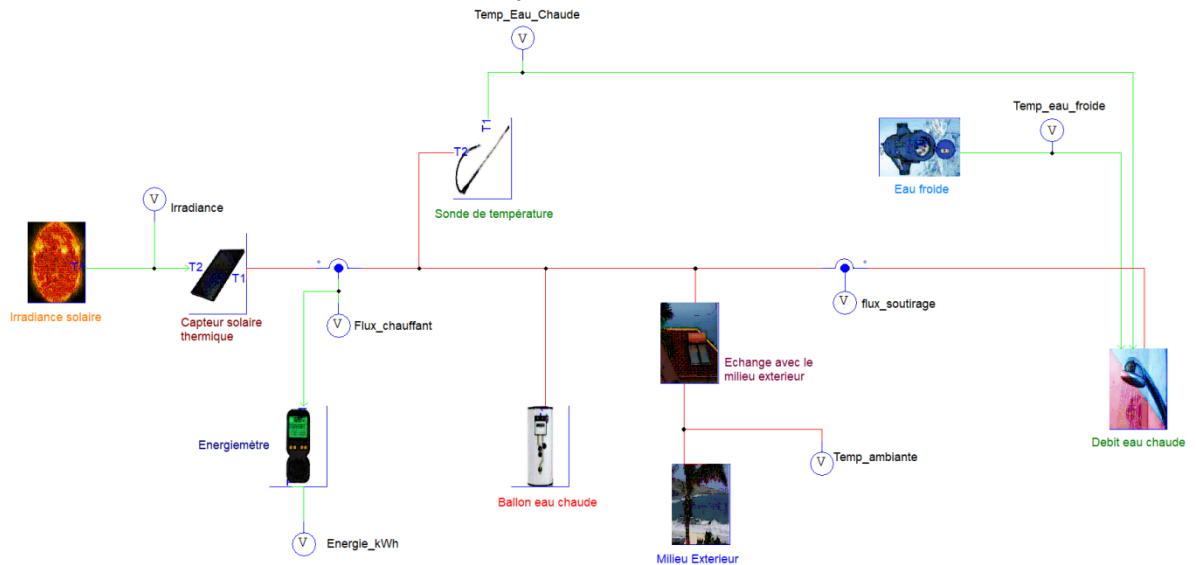
La température augmente pour atteindre un maximum de 60 °C environ. Pendant la nuit, la température diminue à cause de la déperdition thermique par conduction et convection avec le milieu extérieur. Au moment du démarrage du deuxième puisage la température est à 55,7 °C. Elle descend très rapidement à 40 °C à la fin du puisage, puis remonte grâce à l'ensoleillement.

Ici les démarrages sont synchrones avec le lever du soleil. On pourrait imaginer des puisages asynchrones avec la courbe d'ensoleillement. De plus la durée de puisage est de 30 minutes cumulées. Les puisages se font tout au long de la journée normalement en fonction des usages et sur des durées moins longues en général.

Concernant le flux de puisage, on observe que pendant le puisage, il diminue ce qui est cohérent avec la baisse de température.

ELEMENTS DE CORRECTION ACTIVITÉ 5

Voici le schéma sous la version complète de PSIM :



Les allures des grandeurs sont identiques à celles de la version PSIMDEMO, L'irradiance est obtenue par programmation d'un Cblock pour rester cohérent avec le modèle mathématique sous PSIMDEMO. On aurait pu importer les données expérimentales pour la courbe d'irradiance.

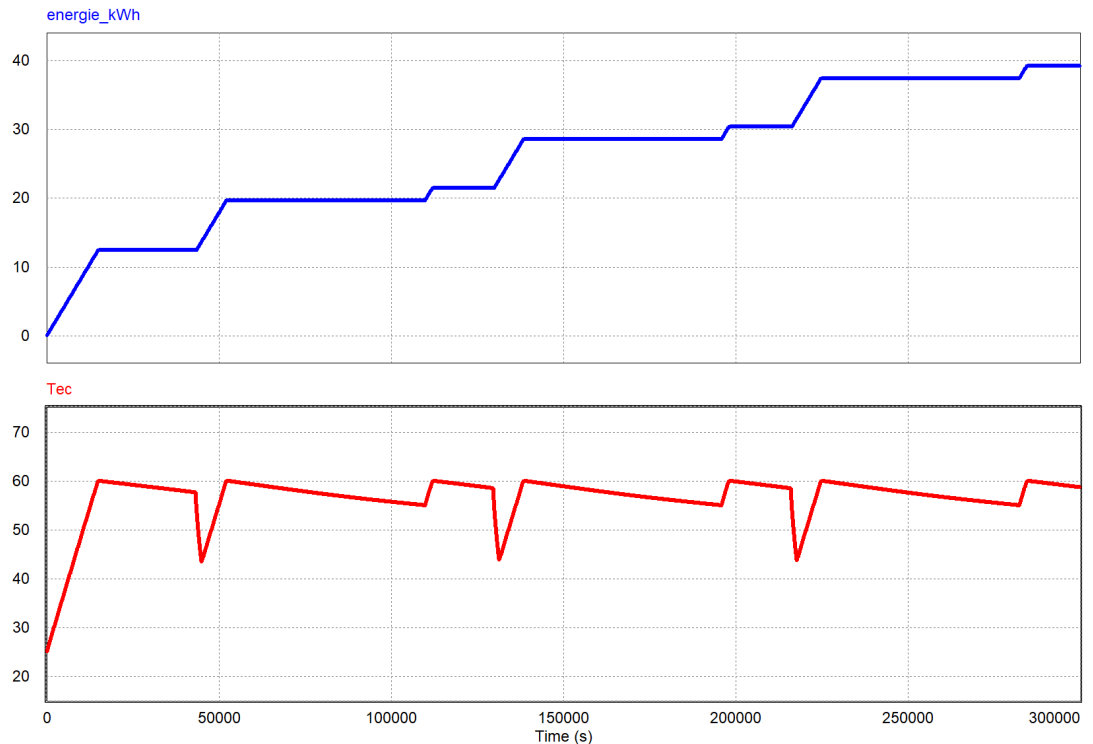
- 1.6** Voir document réponse pour la fonction de transfert Commande en fonction de T_{ec} .
- 1.7** Le flux électrique est réalisé par un générateur de courant commandé par une tension issue d'une bascule R-S.

La température haute qui entraîne la coupure de la puissance vaut 60 °C et la température basse correspond à 55 °C.

Dans la chaîne d'élaboration de la grandeur energie_kWh on recense en cascade un intégrateur de constante 1 seconde et un gain K réglé à 1/(3 600 000). A la sortie de l'intégrateur nous avons l'énergie cumulée en Joules qu'il convient de convertir grâce à K en kWh. 1kWh = 3 600 000 Joules.

L'évolution de l'énergie est consignée ci-dessous :

ELEMENTS DE CORRECTION ACTIVITÉ 5

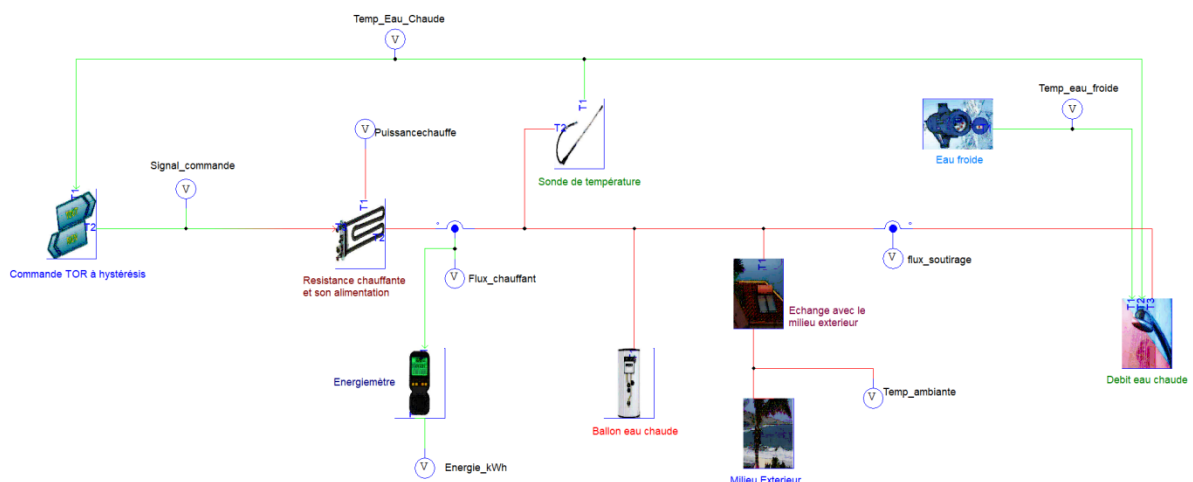


On observe des droites à coefficient directeur positif sur les durées de chauffage.

En effet la puissance étant constante $\text{energie_kWh} = \frac{1}{3,6 \cdot 10^6} \int P \cdot dt = \frac{P \cdot t + A}{3,6 \cdot 10^6}$ où A est la constante d'intégration.

Par exemple à partir de $t = 0$, on a : $\text{energie_kWh} = \frac{2000 \cdot t}{3,6 \cdot 10^6}$.

Sous la version complète de PSIM le schéma multi-physique est le suivant :



Dans ce cas la commande est directement dans la bibliothèque sous le nom de « hysteresis comparator ».

La résistance chauffante est programmée par un module Cblock.

ELEMENTS DE CORRECTION ACTIVITÉ 5

1.8 En réglant la température entre 55 ° C et 60 ° C et en effectuant une simulation sur le 365^e jour (Total Time = 365x3600x24) et (Print Time 364x3600x24), On relève 3256 kWh cumulées. A raison de 15 centimes d'euros le kWh le coût annuel du chauffage est de 488,3 euros.

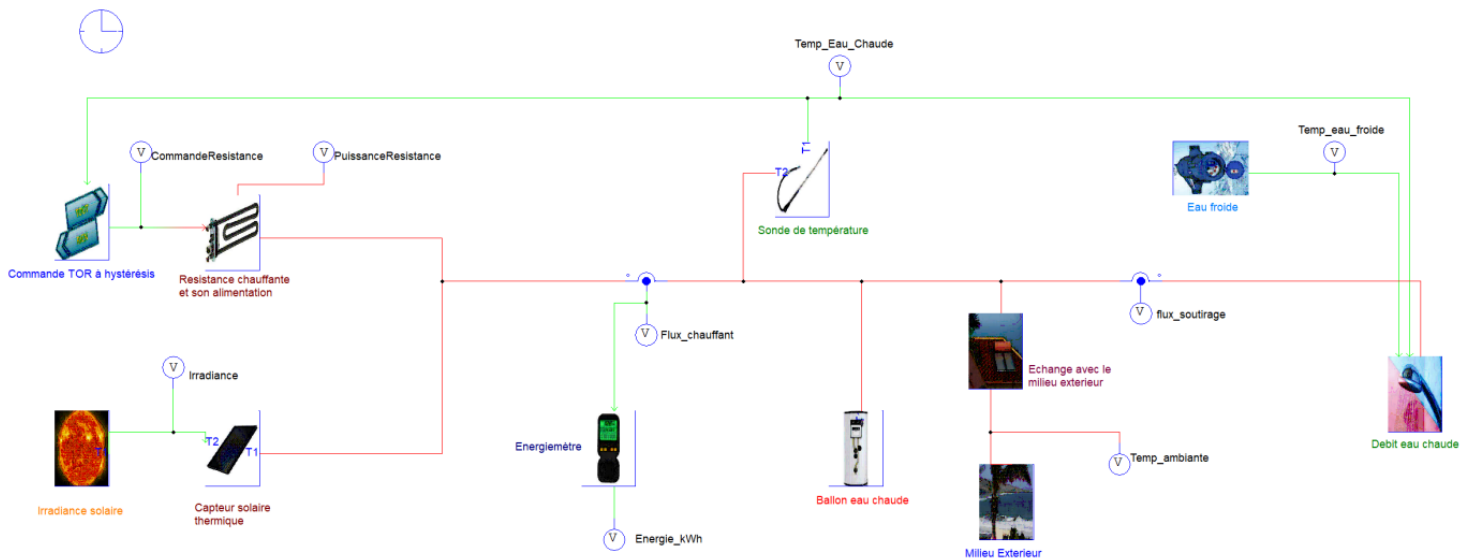
Un chauffe-eau solaire (pose + installation) coûte environ 3 000 euros soit un retour sur investissement brut de 6 ans environ. Il est donc intéressant d'investir dans un chauffe-eau solaire.

Avec le réglage entre 60 ° C et 65 ° C on a 3644 kWh soit environ 12 % de coût supplémentaire annuel.

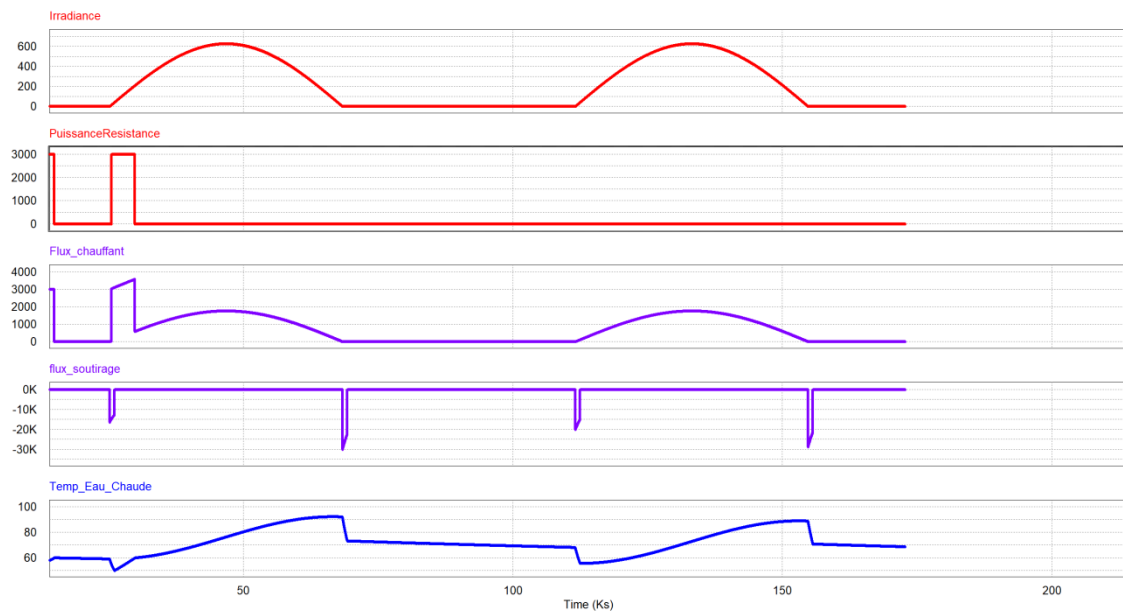
Il convient donc de ne pas régler trop haut le cycle commande des consignes de température, tout en restant dans les limites de conditions sanitaires correctes (développement de certaines bactéries).

Remarques : simulation de l'ensemble avec résistance d'appoint.

Une simulation avec l'énergie d'appoint électrique est menée avec la version complète du logiciel PSIM. L'architecture du modèle multi-physique ainsi que les allures des grandeurs sont consignées ci-dessous :



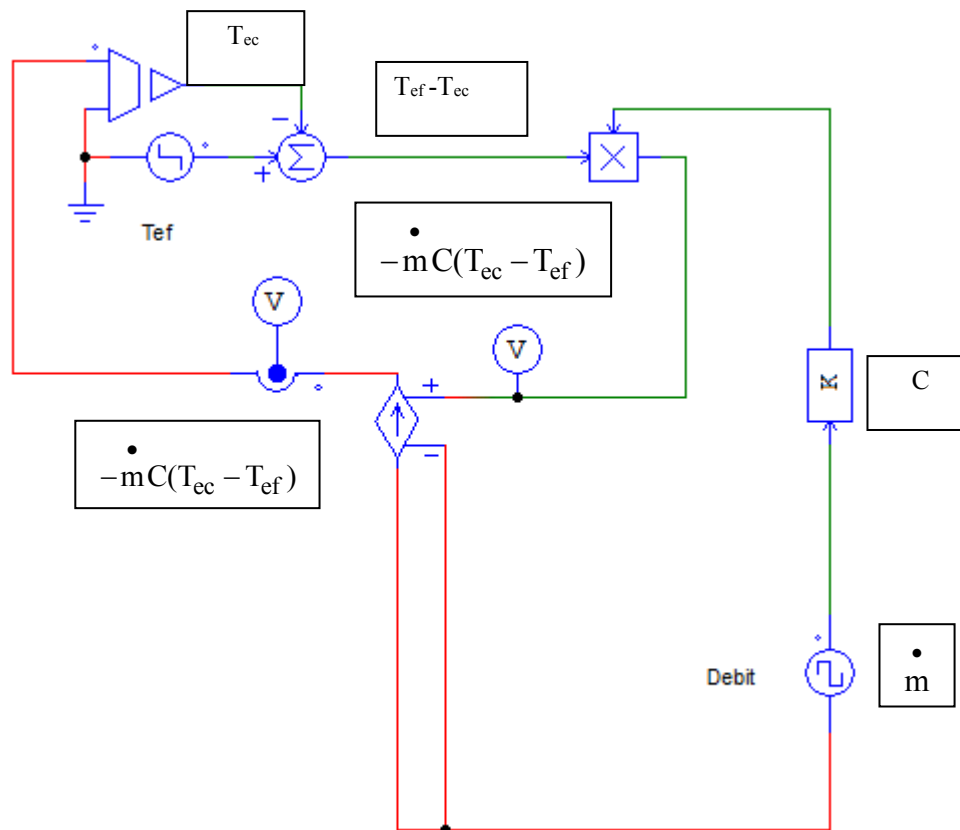
ELEMENTS DE CORRECTION ACTIVITÉ 5



Nous observons qu'au démarrage à 7h lorsqu'on puise de l'eau chaude, la température diminue pour atteindre 55 °C. Ce seuil atteint, la résistance chauffante est sollicitée, elle vient en appoint de la ressource solaire qui n'est pas encore suffisante. Ce qui provoque l'augmentation de la température.

Document réponse

1.2 Schéma d'élaboration du flux de soutirage :



1.6 Fonction de transfert Commande = $f(T_{ec})$:

