

## ENERGIE CALORIFIQUE – CHAUFFER DE L'EAU - SIMULATION

### 1. Mise en situation

Dans cette activité, nous allons simuler le chauffage de l'eau par une bouilloire électrique, afin de réaliser **5 tasses de café quotidiennes, ce qui correspond à 500 ml de liquide**.



La bouilloire a les caractéristiques suivantes :


- ✓ Puissance électrique de 1200 W sous 230 VAC-50Hz.
- ✓ Volume : 0,9 litre de liquide avec un minimum de 0,5 litre.
- ✓ Chauffage par résistance cachée sous une plaque d'inox.
- ✓ Voyant de mise sous tension
- ✓ Arrêt automatique en cas d'ébullition
- ✓ Dimensions utiles :
  - hauteur enveloppe PVC = 16 cm
  - diamètre plaque d'inox 11 cm

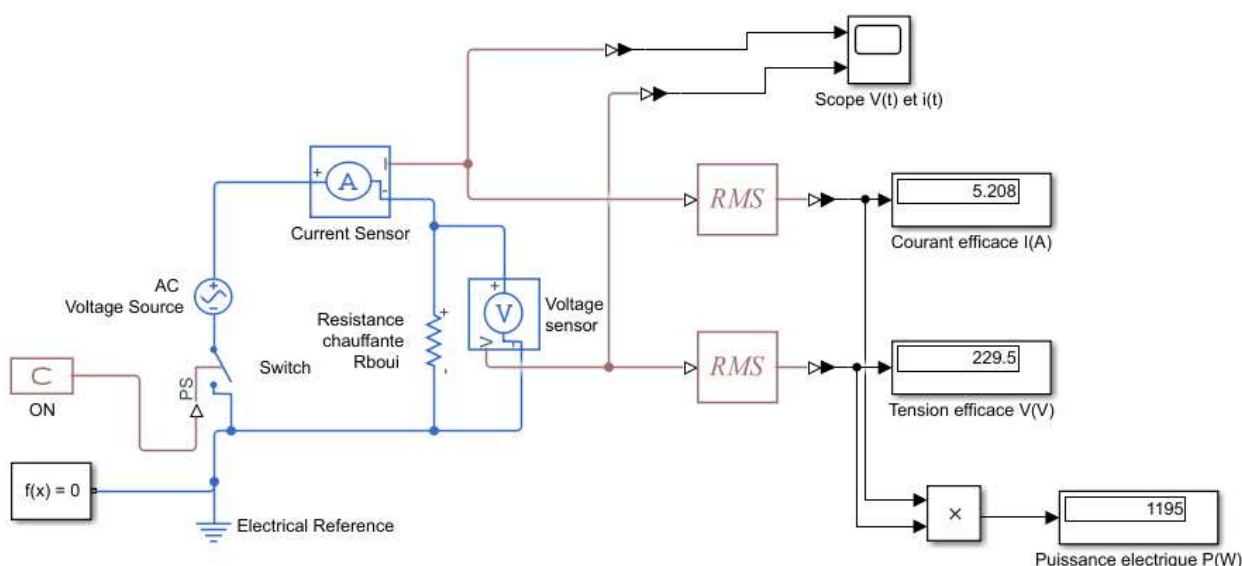


On dispose du logiciel MATLAB® et de l'application Simulink®, SIMSCAPE



### 2. Modélisation électrique

- Q1. D'après les caractéristiques électriques, calculer la résistance de chauffage de la bouilloire  $R_{\text{bouil}}$  en  $\Omega$ .
- Q2. Ouvrir le logiciel MATLAB, l'application Simulink. , puis dans le répertoire SIMSCAPE, choisir le modèle « Electrical »
- Q3. Saisir le schéma suivant et faire valider par votre professeur :



Q4. Lancer une simulation sur 2 périodes et vérifier :

- $V_{max}$ ,  $V_{eff}$
- $I_{max}$ ,  $I_{eff}$
- La période du signal et la fréquence
- La puissance électrique  $P$  en Watt

*Remarque : la sortie du signal « PS-Simulink Converter » après les blocs RMS, doivent avoir des unités en Volt ou en Ampère.*

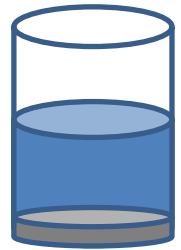
### 3. Modélisation thermique

Vous disposez d'une annexe ainsi qu'une vidéo sur les bilans thermiques et sur les différents types d'échanges de chaleur.

Q5. D'après les ressources, donner les 2 modes d'échange de chaleur au sein de la bouilloire. Justifier.

Q6. Relever les 3 principales formules thermiques avec les unités.

On considère la bouilloire comme un cylindre de diamètre 11cm (plaque d'inox au fond, d'épaisseur négligeable dans ce calcul) et de hauteur 16 cm (paroi PVC d'échange avec l'air ambiant).



Q7. Calculer la surface de contact de l'eau avec l'inox  $S_{INOX}$  en  $m^2$

Q8. Calculer la surface de contact de l'eau avec la paroi en PVC :

- Pour un volume de 0,5 litre, calculer alors la hauteur de remplissage nécessaire  $h_{eau}$  en m. On rappelle que  $Vol = S_{INOX} \times h$
- Déterminer le périmètre utile de la bouilloire  $P$  en m.
- En déduire la surface d'échange avec la paroi en PVC,  $S_{PVC}$  en  $m^2$ . On rappelle que la surface développée d'un cylindre est  $S = P \times h$

### 4. Simulation thermique

On donne les valeurs permettant une simulation proche du réel :

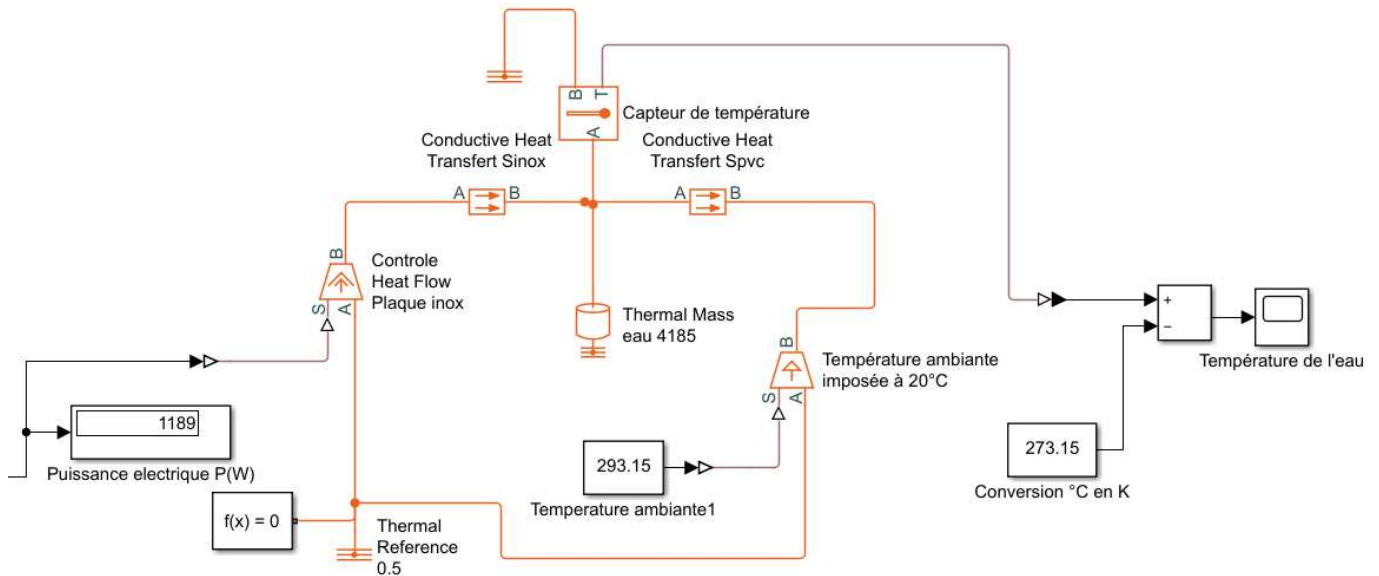
- Capacité thermique de l'eau (specific heat) : 4185 J/K/kg
- Conductivité thermique de l'inox : 15 W/m/K
- Surface de contact avec l'inox :  $S_{INOX} = 95 \text{ cm}^2$
- Epaisseur de l'inox  $e_{inox} = 5 \text{ mm}$
- Conductivité thermique du PVC : 0,22 W/m/K
- Epaisseur du PVC :  $e_{PVC} = 3 \text{ mm}$
- Surface de la paroi PVC utile pour 0,5 l :  $S_{PVC} = 184 \text{ cm}^2$

Q9. Calculer la résistance thermique  $R_{th}$  de la paroi en PVC dans notre cas.

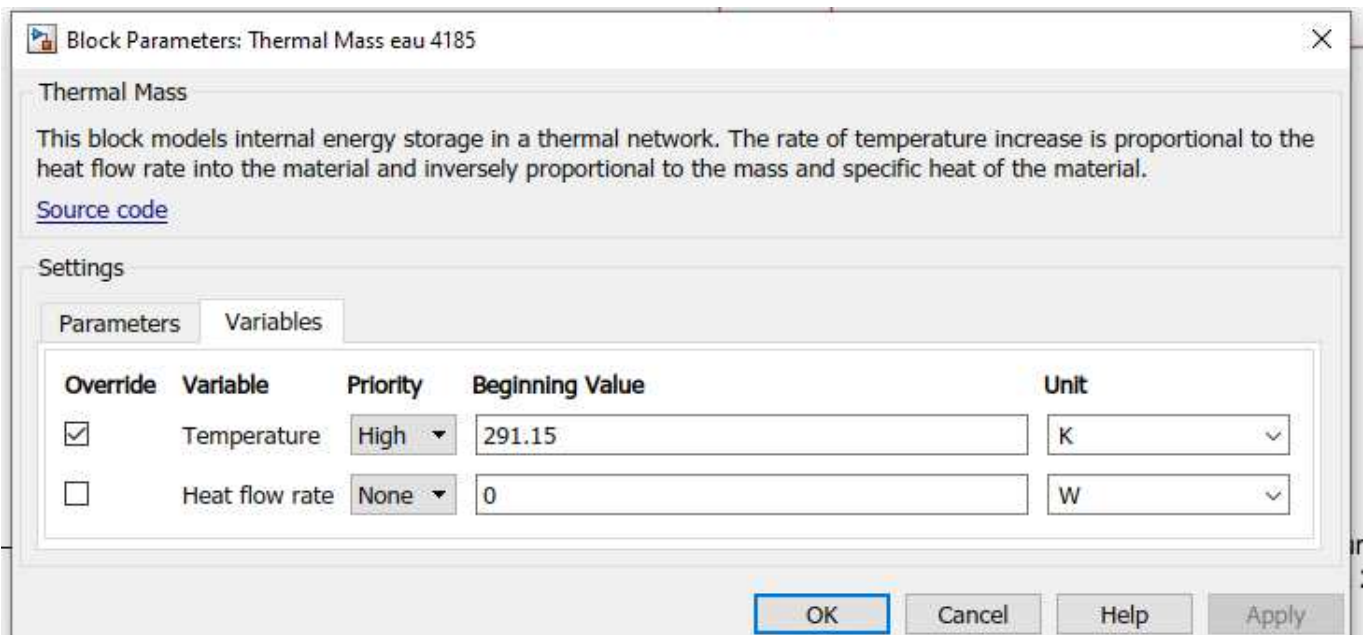
Q10. En déduire la valeur de la température  $T_{finale}$  en  $^{\circ}C$  à pleine puissance si on ne coupe pas à  $100^{\circ}C$  (ébullition) ?

Q11. Déterminer l'énergie  $W$  ou  $U$  en Joule, normalement nécessaire à l'élévation de la température de l'eau de  $18^{\circ}C$  à  $75^{\circ}C$  (référence)

Q12. En complément de votre modèle électrique, vous devez saisir le modèle thermique suivant et faire vérifier par le professeur.



Pour chaque élément thermique, il faut bien saisir les valeurs avec les unités appropriées. Pour la masse thermique de l'eau, il faut préciser la température de départ, considérée à 18°C :



Lancer Temps pour 72 °C

Q13. Lancer une simulation pour un temps de 150 s.

Q14. Relever le temps lorsque la température de l'eau à atteint les 75°C de référence.

Q15. Vérifier et comparer l'énergie électrique Eelec consommée pour cette valeur.

Q16. Rappeler l'énergie nécessaire pour chauffer l'eau de 18°C à cette référence W ou U en J

Q17. En déduire le rendement de la bouilloire  $\eta_{\text{bouil}}$

Q18. Conclure par rapport à vos essais