

Dimensionner et réguler un chauffe-eau électrique

Analyser le besoin initial

Chauffer en moins de 4 heures 200 litres d'eau à 65 °C (à +/- 1%) dans une température ambiante de 20°C et les réguler sur une journée à partir d'une alimentation électrique monophasé.

La résistance de chauffe est de 5 Ω, les pertes de chaleur sont estimées à 0,2 W en régime établi.

Prévoir la consommation énergétique quotidienne du maintien en température et le coût annuel (en fonction de la tarification). Montrer l'avantage la programmation.

Mesurer le comportement thermique d'un volume d'eau chauffé par une résistance

Énumérer les paramètres observables et les grandeurs mesurables¹ et détailler leur méthode d'acquisition :

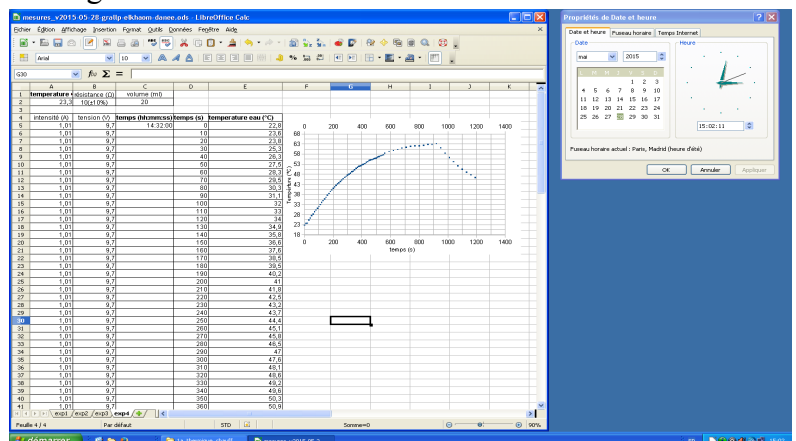


Cumulus électrique Sauter 200 l

- température (intérieure) de l'eau T_{int} (°C) mesurée avec un sonde thermique (à effet Seebeck) ou par thermistance
- tension d'alimentation constante $U(V)$ mesurée au voltmètre (intégré au générateur ou ajouté en dérivation)
- intensité absorbée $I(A)$ mesurée à l'ampèremètre (intégré au générateur ou ajouté en série)
- volume d'eau chauffé $V(dm^3)$ mesuré avec une éprouvette graduée
- durée de chauffage $dt(s)$ mesurée au chronomètre
- résistance électrique (Ω)
- type de récipient forme, matériau (verre, carton, plastique, isotherme)

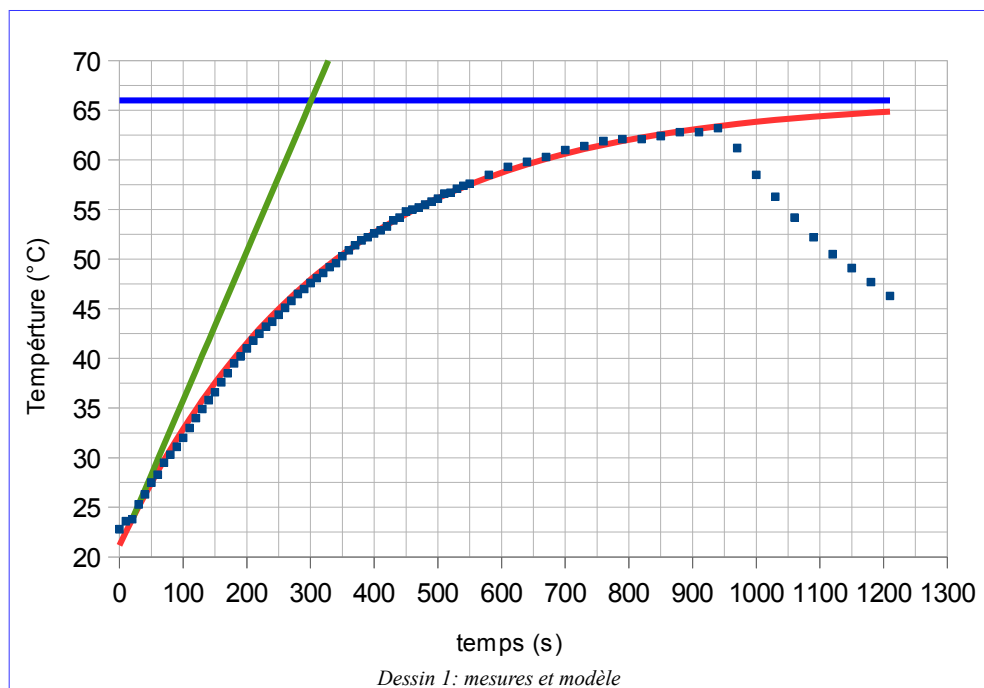
Mettre en œuvre les mesures permettant d'évaluer les grandeurs suivantes et détailler leur méthode de calcul :

- la vitesse de chauffage au début du régime transitoire et
- la température en régime établi.
- énergie $(J) = p(W) \cdot t(s)$
- puissance absorbée électrique $P_a(W) = u(V) \cdot i(A)$
- puissance utile thermique $P_u(W)$
- rendement $\eta = P_u(W) / P_a(W)$



¹ voir SI/documentation/experimenter_organiser.pdf

Saisir les données dans un tableau (illustr.), tracer les résultats.



temps (s)	temperature eau (°C)
0	22,8
10	23,6
20	23,8
30	25,3
40	26,3
50	27,5
60	28,3
70	29,5
80	30,3
90	31,1
100	32
110	33
120	34
130	34,9

Tableau 1: données (extrait)

Modéliser l'expérience :

On observe la réponse typique d'un système du premier ordre : la température est régie par une équation

différentielle d'ordre un du type : $A_e = \tau \frac{dT}{dt} + T$

On alors peut évaluer sa constante de temps τ par l'intersection de la tangente avec la valeur finale (environs 70 °C) donc environs 300 s.

Le bilan énergétique :

- puissance thermique P reçue de la résistance de chauffe qui se traduit par une variation de la température T par rapport au temps, proportionnellement à la masse (masse volumique de l'eau $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ multipliée par volume $v = 0,020 \text{ m}^3$) et sa capacité thermique massique c (4185 J/°K/kg) qui fait l'objet de
- pertes par convection naturelle avec l'air ambiant (à la température Text, avec l'aire A de contact et h le coefficient de transfert entre 5 et 25 W·m⁻²·K⁻¹) ;

On peut en déduire une version simplifiée de l'équation de la chaleur : $P - hA(T - T_\infty) = \rho v c \frac{\partial T}{\partial t}$

que l'on peut mettre sous la forme canonique du premier ordre : $\frac{P}{hA} + T_\infty = \frac{\rho v c}{hA} \frac{\partial T}{\partial t} + T$

En phase de chauffage :

De $t = 0 \text{ s}$ à $t = 940 \text{ s}$, on modélise le graphe par l'équation du type $T(t) = T_{ini} + (T_{fin} - T_{ini})(1 - e^{-\frac{t-t_{ini}}{\tau}})$

ajustée au nuage de points expérimentaux avec les paramètres :

$$t_{ini} = 20 \text{ s}, T_{ini} = 23,8 \text{ °C}, T_{fin} = 66 \text{ °C}, \tau = 330 \text{ s}$$

Identifier les paramètres du modèle : $\tau = \frac{\rho v c}{hA}$

Simuler l'expérience avec Scilab/SIMM

exporter les résultats en .csv, et les ajouter dans le tableau pour comparer les chronographes de mesure et simulation, ajuster les paramètres.

la capacité thermique vaut $\rho v c = 1000 \text{ kg/m}^3 * 0,000020 \text{ m}^3 * 4185 \text{ J/}^\circ\text{K/kg} = 83,7 \text{ J/}^\circ\text{K}$,

la conductivité vaut $hA = \frac{\rho v c}{\tau} = 1000 \text{ kg/m}^3 * 0,020 * 10^{-6} \text{ m}^3 * 4185 \text{ J/}^\circ\text{K/kg} / 330 \text{ s}$

$= 1000 * 0,020 * 4185 / 330 = 253,64 * 10^{-3} \text{ W/}^\circ\text{K}$ saisi 254e-3, ajusté à 0,22 W/K

l'eau : la masse volumique (1000 kg/m³) et sa capacité thermique (J/kg)

Répondre au besoin initial

Ajuster le modèle aux performances attendues

montrer l'écart entre simulé et attendu, montrer l'influence des paramètres {T_ext, P, volume,

- la capacité thermique vaut $\rho v c = 1000 \text{ kg/m}^3 * 0,200 \text{ m}^3 * 4185 \text{ J/}^\circ\text{K/kg}$,
- la conductivité vaut $hA = \frac{\rho v c}{\tau} = 0,2 \text{ W/} (65-20) \text{ K}$
- Proposer une stratégie de régulation de température améliorant les performances, montrer que ses résultats simulés offrent de meilleurs performances, expliquer comment la mettre en œuvre (algorithme)
- Proposer une solution constructive pour l'enceinte d'isolation. La simuler sous Solidworks.