

Devoir de Rédaction

Le lave-linge

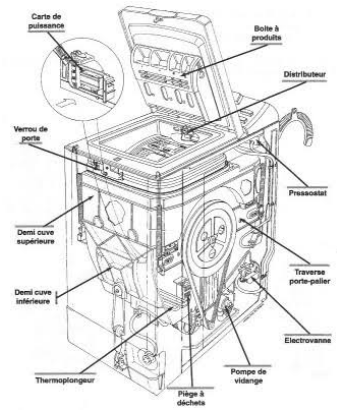
Vous êtes invités à porter une attention particulière à la rédaction et au soin de votre copie. Les numéros des questions doivent être mis en évidence et les résultats encadrés.

Travailler avec le cours et les exercices de travaux dirigés ouverts sous les yeux est chaudement recommandé : un devoir de rédaction est un entraînement, pas une évaluation. En cas de besoin, n'hésitez pas à me contacter ou à venir me poser des questions à la fin d'une séance.



Ce devoir sera ramassé le 3 novembre.

Le lave-linge est un appareil électroménager réalisant un nettoyage des textiles en plusieurs phases - lavage, rinçage, essorage. Pour amorcer le lavage, il faut d'abord procéder au remplissage de la cuve et au chauffage de l'eau. Lors d'un cycle à vide d'entretien, le pressostat est réglé pour permettre le remplissage de la moitié de la cuve.



Structure d'un lave-linge.

On modélise un lave-linge comme un tambour tournant dans une cuve de forme cubique et de côté $a = 60,0$ cm. Pour réguler le niveau d'eau dans la cuve, un pressostat mesure la pression de l'air dans une chambre de compression cylindrique de rayon $r = 3,0$ cm reliée au bas de la cuve. La quantité d'air présente dans la chambre de compression reste constante, ainsi que sa température.

Avant le remplissage, l'air occupe un volume $V_0 = 0,50$ L et la pression dans le pressostat vaut la pression standard. Lors du remplissage, le débit volumique en eau est $D_v = 12 \times 10^{-3}$ m^3·min^{-1}. Quand la pression du pressostat atteint une valeur seuil, un signal interrompt le remplissage : la hauteur d'eau dans la chambre de compression est alors $h = 5,0$ mm et on note P_2 la pression dans le pressostat.

1. Déterminer la durée Δt_1 requise pour le remplissage du lave-linge lors d'un cycle d'entretien.

2. Exprimer le volume V_2, P_2 puis enfin la surpression $\Delta P = P_2 - P_0$ en fonction de P_0, r, V_0 et h.

3. Vérifier que l'expression de ΔP obtenue est cohérente avec la loi de la statique des fluides.

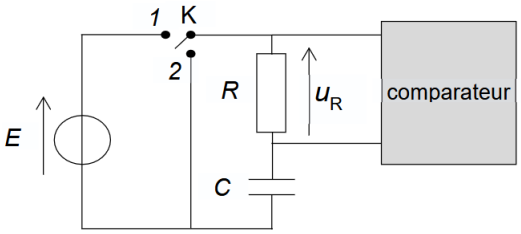
4. Réaliser l'application numérique pour ΔP et la comparer à celle d'un cycle complet : $\Delta P' = 150$ Pa.

Lorsque la machine n'est plus en phase de test mais en fonctionnement normal et sans linge, la surpression ΔP vaut 150 Pa. On considère alors que la hauteur d'eau h dans la chambre de compression, est négligeable devant la hauteur d'eau dans la cuve.

5. Déterminer le volume d'eau contenu dans la cuve en fonctionnement normal et sans linge

La minuterie d'un lave-linge utilise des circuits électroniques pour activer et désactiver les différentes fonctions du lave-linge. Il est nécessaire d'ajouter une durée de temporisation entre deux étapes d'un cycle pour laisser le temps à la machine de se stabiliser, éviter les chocs mécaniques et garantir que chaque phase démarre dans de bonnes conditions. Le circuit électrique utilisé suivant modélise le dispositif. Dans ce montage, la force

électromotrice du générateur de tension idéal est $E = 4,5$ V. On note R la résistance du conducteur ohmique, C la capacité du condensateur. Le comparateur, qui contrôle le remplissage, met fin à la temporisation à l'instant t_{seuil} pour lequel la tension aux bornes de la résistance atteint un tiers de la tension d'alimentation.

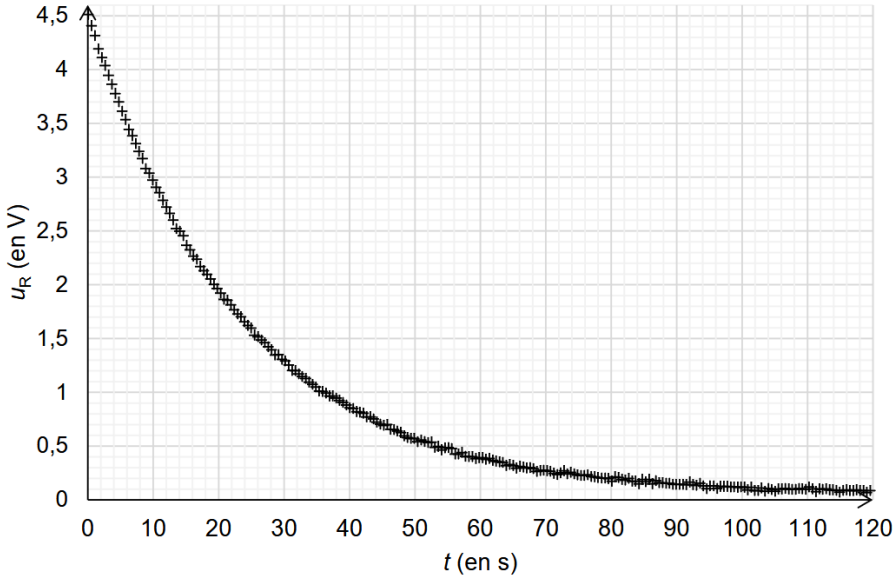


6. Déterminer la loi d'évolution de la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur. En déduire t_{seuil}.

Le circuit précédent est réalisé en remplaçant le comparateur par un système d'acquisition. On souhaite obtenir une durée $\Delta t_2 = t_{\text{seuil}} - t_0$ voisine de 30 s. Dans le montage, le condensateur est de capacité $C = 4,70$ mF.

7. Déterminer la valeur de résistance à choisir pour obtenir la bonne durée de temporisation.

8. Vérifier que la tension à l'origine expérimentale (graphe ci-après) est en accord avec la valeur théorique que l'on justifiera. Déterminer ensuite graphiquement la valeur expérimentale τ_{exp} de la constante de temps du circuit.



Après le remplissage de la cuve et un temps de temporisation, l'eau est chauffée par une résistance électrique, appelée thermoplongeur, parcourue par un courant électrique et délivrant une puissance $\mathcal{P}_{\text{élec}} = 2$ kW. Le volume $V = 5,7$ L d'eau contenue dans la cuve est chauffée de la température ambiante $\theta_0 = 20$ °C jusqu'à la température $\theta_f = 30$ °C. On suppose que les parois de la cuve sont calorifugées et que la température est homogène dans le fluide. On donne la capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3$ J·kg^{-1}·K^{-1}.

9. En réalisant un bilan de puissance, exprimer la durée Δt_3 nécessaire au chauffage de l'eau dans la cuve.

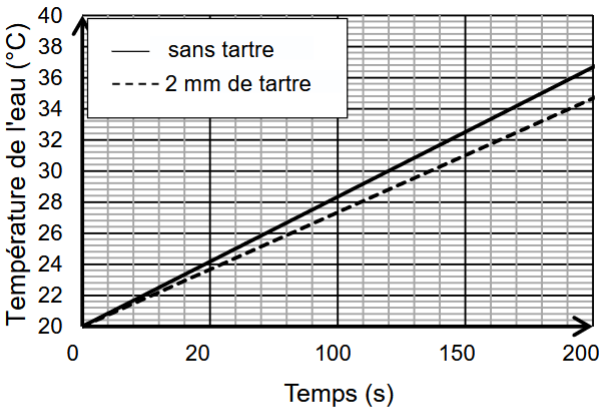
On rappelle la loi de Newton qui modélise les transferts conducto-convectifs entre une surface solide et un fluide en convection :

$$\Phi = hS\left(\theta_{\text{surface}} - \theta_{\text{fluide}}\right)$$

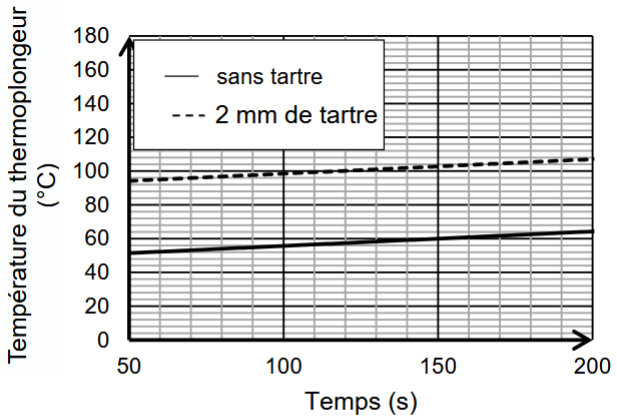
avec h le coefficient de transfert conducto-convectif.

10. Justifier que le brassage de l'eau dans cuve favorise le transfert entre le thermoplongeur et l'eau.

Même lorsque le brassage est efficace, une mince couche de tartre peut se déposer sur le thermoplongeur pendant l'utilisation du lave-linge. Afin d'étudier son impact sur le chauffage, une modélisation plus poussée simule l'évolution de la température de l'eau et du thermoplongeur en fonction du temps de chauffage. On obtient les données ci-après



Simulation de la température de l'eau pendant le chauffage



Simulation de la température du thermoplongeur pendant le chauffage

D'après Pezzin A., Giansetti M., Ferri A., Comsol Conference Proceedings, 2013

11. Déterminer la durée nécessaire au chauffage de l'eau dans le cas sans tartre et en déduire la température atteinte par le thermoplongeur à la fin du chauffage. En déduire un ordre de grandeur de h et la comparer à $h' = 10^3$ SI sans brassage.

12. Estimer en pourcentage l'augmentation de consommation d'énergie que la présence de tartre sur le thermoplongeur engendre.

Lien vidéo Expliquer en quoi une utilisation de lave-linge est un compromis entre économie d'eau et d'électricité.

- Fin de l'énoncé -



Le saviez-vous ?

Si le savant allemand Jacob Christian Schäffer (1718-1790) inventa la machine à laver mécanique, le premier brevet industriel fut délivré à Nathaniel Briggs en 1797 aux Etats-Unis. Plus tard, des modèles plus sophistiqués comme la "barboteuse" du constructeur français Flandria utilisèrent la pression de l'eau pour agiter les vêtements. En 1858, Hamilton Smith breveta une version rotative ; en 1952, General Electric commercialisa la première essoreuse, faisant décoller le marché.

La "Barboteuse" de Flandria

Source : babethhistoires.unblog.fr
