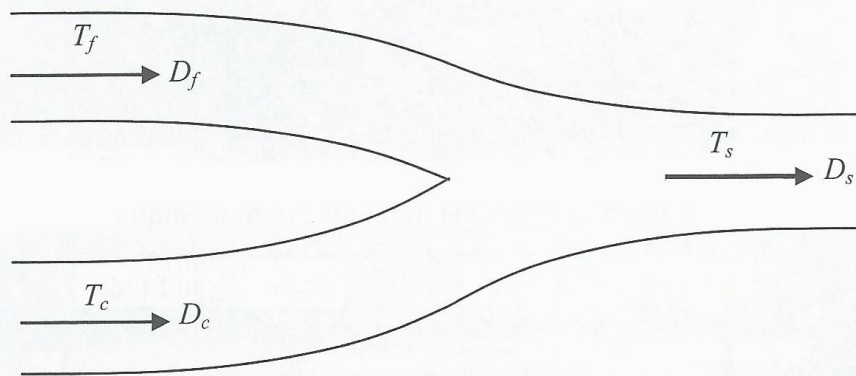


PSI\* 2015 - 2016  
TD N°10 - THERMODYNAMIQUE

**EXERCICE 1 : Mitigeur mécanique vs mitigeur thermostatique**

Un mitigeur est un mélangeur permettant d'obtenir en sortie un débit et une température réglables à l'aide de deux arrivées d'eau : une arrivée d'eau froide et une arrivée d'eau chaude. Ce problème propose de comprendre l'avantage principal des mitigeurs thermostatiques sur les mitigeurs mécaniques.

On considère un mélangeur alimenté par deux canalisations d'eau : une canalisation d'eau à la température  $T_f$  avec un débit massique  $D_f$  et une autre de température  $T_c$  avec un débit massique  $D_c$ . On note  $D_s$  et  $T_s$  respectivement le débit et la température de l'eau en sortie du mitigeur. On fait l'hypothèse que le mitigeur est calorifugé et l'on raisonne en régime stationnaire.



1) En effectuant un bilan de masse, exprimer  $D_s$  en fonction de  $D_c$  et  $D_f$ .

2) A partir du premier principe de la thermodynamique appliqué à un système fermé que l'on précisera et en supposant que la capacité calorifique massique à pression constante  $c_p$  ne dépend pas de la température, exprimer  $T_s$  en fonction de  $D_c$ ,  $D_f$ ,  $T_c$  et  $T_f$ .

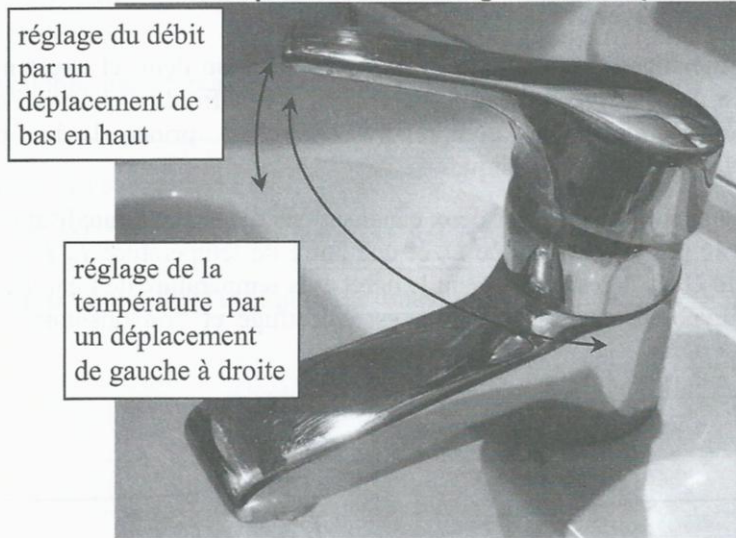
Dans une maison individuelle où le système de production d'eau chaude est à accumulation, la température  $T_c$  est fixée, l'eau froide étant à la température ambiante  $T_f$ . L'utilisateur souhaite régler le mitigeur afin d'avoir un certain débit  $D_s$  et une certaine température  $T_s$ .

3) Montrer que le mécanisme du mitigeur doit alors être réglé de telle manière à imposer des débits d'eau chaude et d'eau froide  $D_c$  et  $D_f$  dont on donnera les expressions en fonction des autres paramètres.

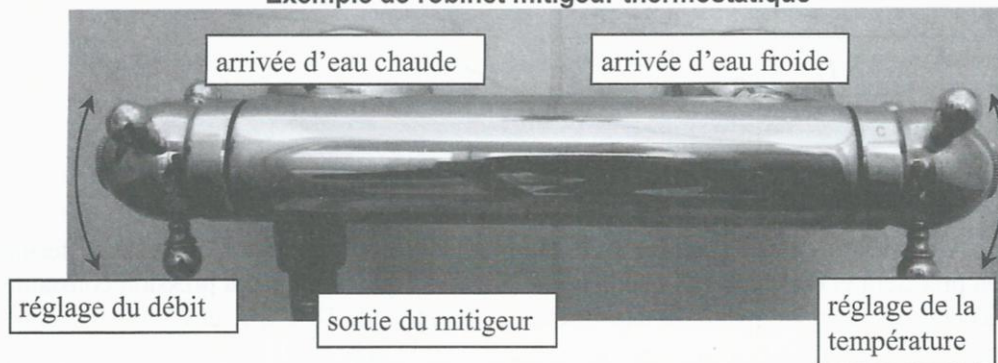
En pratique, les températures de l'eau chaude et de l'eau froide sont variables. Dans un mitigeur mécanique, le dispositif ne possède aucun système d'asservissement : la température de sortie va dépendre des températures de l'eau chaude et de l'eau froide. Pour quantifier cette dépendance, on considère le cas où le mitigeur est réglé pour une température  $T_{c,R} = 60^\circ\text{C}$  et  $T_{f,R} = 20^\circ\text{C}$ . L'utilisateur décide alors de mettre le chauffe-eau en mode « éco » tel que  $T_{c,\text{éco}} = 45^\circ\text{C}$  sans modifier le réglage du mitigeur.

4) Pour une température de l'eau froide de  $T_f = 16^\circ\text{C}$  et si l'utilisateur règle la température pour avoir « normalement »  $30^\circ\text{C}$  en sortie du mitigeur, quel sera la température *réelle* de l'eau sortant du mitigeur ? Commenter.

### Exemple de robinet mitigeur mécanique



### Exemple de robinet mitigeur thermostatique



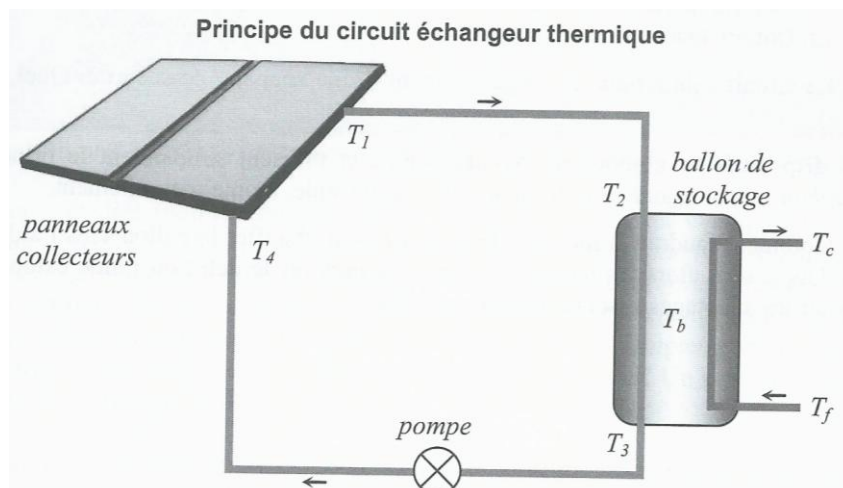
© Renaud Carpentier

Un mitigeur thermostatique ajuste quant à lui automatiquement les débits  $D_c$  et  $D_f$  en fonction de la température de sortie. Pour ce faire, le dispositif dispose d'un détecteur de température (généralement un bilame) et d'une cartouche de cire dilatable. Cette

association permet de faire varier les débits en fonction de la température et ainsi de créer un système asservi sur la température désirée en sortie.

### EXERCICE 2 : Etude d'un chauffe-eau solaire

Une méthode économique et écologique pour chauffer de l'eau domestique consiste à utiliser des panneaux solaires. Le rayonnement solaire est capté par un fluide caloporteur antigel qui le transfère à son tour à l'eau sanitaire grâce à un échangeur thermique.



Les panneaux collecteurs ont une surface  $S = 6 \text{ m}^2$  et sont inclinés pour recevoir le rayonnement solaire en incidence normale. Le fluide caloporteur contient un puissant antigel et peut être assimilé à de l'eau. La circulation est imposée par une pompe qui maintient un débit massique constant  $D_m = 180 \text{ kg.h}^{-1}$  en période de chauffe. On mesure les températures suivantes à différents endroits de l'installation :

$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_f$	$T_c$
$75^\circ\text{C}$	$73^\circ\text{C}$	$65^\circ\text{C}$	$63^\circ\text{C}$	$15^\circ\text{C}$	$65^\circ\text{C}$

On rappelle la capacité thermique massique de l'eau  $c = 4,18.10^3 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  et sa masse volumique  $\rho = 1,0.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ .

1) Déterminer la puissance thermique transmise au fluide caloporteur dans les panneaux collecteurs. Définir et évaluer le rendement de la conversion d'énergie solaire en énergie thermique sachant que le flux surfacique solaire vaut environ  $600 \text{ W.m}^{-2}$ .

Le ballon de stockage contient  $V = 200 \text{ L}$  d'eau à la température initiale  $T_i = 35^\circ\text{C}$ . On appelle  $T(t)$  la température de l'eau dans le ballon, supposée uniforme. Pendant la phase de chauffe, la température  $T_3$  du fluide caloporteur en sortie du ballon vaut  $T(t)$ . On suppose que la température du fluide à l'entrée reste constante, égale à  $T_2 = 73^\circ\text{C}$ . Le ballon est parfaitement calorifugé.

2) A l'aide d'un bilan thermique, établir l'équation différentielle vérifiée par  $T(t)$ . On fera apparaître un temps caractéristique  $\tau$  que l'on calculera.

3) Evaluer le temps au bout duquel la température dans le ballon atteint  $T_b = 65^\circ\text{C}$ .

Une fois que la température  $T_b$  est atteinte dans le ballon, la pompe s'arrête et ne se remet en route que pour maintenir cette température constante. On prélève alors de l'eau chaude sanitaire à la température  $T_c = T_b$  avec le débit massique  $D_{m, eau}$  en la remplaçant par de l'eau froide à la température  $T_f = 15^\circ\text{C}$ .

4) Déterminer le débit massique maximal possible d'eau chaude sanitaire pour que celle-ci garde la même température  $T_b$ .

5) Evaluer les pertes thermiques dans les canalisations de raccordement du fluide caloporteur. Commenter.

6) Le circuit caloporteur est toujours muni d'une soupape de sécurité. Quel est son rôle ?

Certains dispositifs ne comportent pas de pompe et utilisent simplement le principe du *thermosiphon* : l'eau chaude, moins dense que l'eau froide, monte naturellement.

7) Comment faudrait-il modifier le système pour chauffer le ballon sans l'aide d'une pompe ? Quels sont alors les paramètres qui vont imposer le débit du fluide caloporteur ? Commenter les avantages associés à cette méthode.

### EXERCICE 3 : Grandeurs massiques pour l'équilibre liquide-vapeur

Le document ci-dessous donne quelques valeurs des enthalpies, des entropies et des volumes massiques de la vapeur d'eau saturante et de l'eau liquide saturante pour différentes températures de changement d'état.

Commenter les valeurs de ce diagramme et vérifier la condition d'équilibre liquide-vapeur pour chaque température de changement d'état.

$t_{\text{éb}} (^\circ\text{C})$	$h_{(v)} (\text{kJ.kg}^{-1})$	$h_{(l)} (\text{kJ.kg}^{-1})$	$s_{(v)} (\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1})$	$s_{(l)} (\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1})$	$v_{(v)} (\text{m}^3.\text{kg}^{-1})$	$v_{(l)} (\text{m}^3.\text{kg}^{-1})$
100	2676	419	7.355	1.306	1.673	$1.04 \cdot 10^{-3}$
150	2746	632	6.838	1.842	0.393	$1.09 \cdot 10^{-3}$
200	2793	852	6.434	2.331	0.127	$1.16 \cdot 10^{-3}$

Grandeurs massiques de l'eau liquide et de l'eau vapeur.