

Liste des questions ouvertes

		PCSI	MP/PTSI	BCPST
Le bain de monsieur Propre ☆	191	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Sup</i> ¹
Estimer le prix du bain de monsieur Propre.				
La pipe du capitaine Haddock ☆☆	196	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Sup</i> ¹
Combien de temps faut-il au tabac pour s'enflammer ?				
Freinage ABS ☆	198	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Sup</i> ¹
Estimer l'élévation de température des freins à disque d'une voiture roulant à 90 km/h qui s'arrête brusquement.				
Bouillant de FRANKLIN ☆☆	200	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>
Expliquer les observations.				
Boisson fraîche ☆☆	202	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Spé</i>
Combien de glaçons faut-il ajouter pour avoir une eau aussi rafraîchissante que celle du réfrigérateur ?				
Four solaire ☆☆	206	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Spé</i>
En combien de temps le trou fut-il réalisé ?				
CD et CD-RW ☆ ☆	208	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Spé</i>
Estimer la durée minimale de gravure en écriture d'un CD-RW de 74 minutes.				
Ballon de football ☆	211	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>
Combien de coups de pompe à vélo faut-il donner au minimum pour gonfler un ballon de foot ?				

		PCSI	MP/PTSI	BCPST
Chambre d'étudiant ☆	213	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>
Est-il prudent de dormir fenêtres fermées sans système d'aération ?				
Une voiture qui ne manque pas d'air ☆☆☆	214	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Spé</i>
Estimer l'autonomie de l'AirPod.				
Carabine PCP ☆☆	219	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Spé</i>
Estimer la vitesse d'une munition en sortie du canon.				
Bouteille de champagne ☆☆	221	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Spé</i>
Estimer la hauteur atteinte par le bouchon après expulsion.				
La calorimétrie selon EDF ☆	223	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Spé</i>
Déterminer la capacité thermique massique de l'eau.				
Consommation automobile ☆☆	226	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>
Calculer la consommation de cette automobile en litres de carburant par 100 km parcourus.				
Habiter sur la Lune ☆☆	229	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>
Estimer la puissance moyenne minimale à fournir pour maintenir une habitation lunaire à 20 °C pendant un jour lunaire.				
L'eau fraîche ☆☆	233	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Sup</i> ¹
Combien coûte le refroidissement d'une bouteille de 1 L d'eau placée au réfrigérateur ?				
Centrale nucléaire ☆☆	236	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Spé</i>
Cette centrale nucléaire respecte-elle la loi ?				
La vie du Soleil ☆☆	238	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>	<i>Sup</i>
Estimer la durée de vie du Soleil.				

1. La correction utilise l'enthalpie (vue en seconde année BCPST) mais l'emploi de l'énergie interne pour une évolution isochore permet une résolution dans le cadre du programme de première année.

Le bain de monsieur Propre

Lorsque monsieur Propre utilise sa baignoire en fonte de 350 L et 100 kg, il ne fait pas les choses à moitié et la remplit presque à ras bord. Il apprécie tout particulièrement un bain bien chaud à 38 °C pour une température ambiante de la salle de bain de 21 °C.

Estimer le prix du bain de monsieur Propre.

Données :

- Extrêmement robuste, la fonte est le matériau traditionnellement utilisé pour les baignoires. Apparue au 18^e siècle puis détrônée d'abord par la porcelaine puis plus récemment par l'acrylique, la baignoire en fonte revient en force tant ses qualités sont appréciables. Selon les publicitaires, elle est :
 - Isolante : l'inertie thermique de la fonte permet de garder la chaleur du bain pour un confort constant.
 - Robuste : bien entretenu, l'émail a une durée de vie incomparable et résiste aux chocs et rayures. Certains fabricants vont même jusqu'à garantir une baignoire en fonte 25 ans !
 - facile à entretenir : très peu sensible aux bactéries et dépôts de calcaire, la fonte émaillée se nettoie facilement et conserve un aspect propre et net.
 - Écologique : la fonte est un matériau 100 % recyclable.
- Le relevé annuel de facture d'électricité du foyer indique :

	Conso kWh	Montant €HT	TVA
Total Consommation (dont acheminement 361,70 €)	10506	1000,18	20,0 %
Total Taxes et Contributions		361,24	20,0 %
Total Abonnement (dont acheminement 89,91 €)		114,16	20,0 %

- La dernière facture d'eau indique :

Compteur n°	Déterminé par	Date	Nouvel Index (m ³)	Ancien Index (m ³)
666	relevé	19.02.2019	2685	2536

Total HT	Total TVA	Montant TTC	Solde antérieur	net prélevé
677,47 €	37,26 €	714,73 €	-684,57 €	30,16 €

- Capacité thermique massique de l'eau : $c_e = 4,2 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Capacité thermique massique de la fonte : $c = 0,5 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Pour éviter toute contamination par légionellose, la température du chauffe-eau électrique est maintenue à 68°C ; ce dernier est alimenté à partir d'une eau froide à 18°C .

À savoir avant de commencer...

Énoncer le premier principe. Comment s'écrit-il pour une évolution monobare purement thermodynamique entre deux états d'équilibre ?

Pour un système fermé évoluant entre deux états, en échangeant de l'énergie par travail W et par chaleur (transfert thermique Q), le premier principe stipule que son énergie E varie selon :

$$\Delta E = W + Q \text{ où } \boxed{E = U + E_c + E_p} \text{ soit } \boxed{\Delta(U + E_c + E_p) = W + Q}$$

W est le travail des forces extérieures non conservatives donc ne dérivant pas d'une énergie potentielle car cette énergie potentielle fait partie de l'énergie du système. L'énergie interne U est une grandeur extensive ($U_{\Sigma_1+\Sigma_2} = U_{\Sigma_1} + U_{\Sigma_2}$) et une fonction d'état des variables thermodynamiques, en d'autres termes $\Delta U = U_{fin} - U_{initial}$ ne dépend que de l'état initial et de l'état final, elle est indépendante du chemin suivi, en revanche W et Q eux en dépendent.

Le premier principe est aussi appelé principe de conservation de l'énergie car les variations d'énergie totale du système sont uniquement liées aux termes d'échange, il n'y a pas de terme de création (comme pour l'entropie). Par conséquent pour un système isolé :

$$\boxed{E_{isolé} = cste}$$

Le système est *purement thermodynamique* s'il est macroscopiquement au repos dans le référentiel d'étude, son énergie cinétique macroscopique E_c et son énergie potentielle E_p sont donc constantes. Dans ce cas particulier (mais usuel) le premier principe se simplifie selon :

$$\boxed{\Delta U = W + Q}$$

Pour une transformation monobare ($P_{ext} = cste$), mécaniquement réversible entre deux états d'équilibre : $U_i, P_i, V_i \rightarrow U_f, P_f, V_f$, le travail des forces de pression s'écrit

$$W_p = - \int_i^f P_{ext} dV = -P_{ext}(V_f - V_i) \text{ et le premier principe donne :}$$

$$\Delta U = U_f - U_i = Q + W_p + W' = Q - P_{ext}(V_f - V_i) + W'$$

W' représente les travaux autres que celui des forces pressantes.

Comme les états initial et final sont des états d'équilibre $P_{ext} = P_i$ et $P_{ext} = P_f$ (même si

la pression du système n'est pas forcément égale à la pression extérieure à tout instant) et il vient alors :

$$U_f - U_i = Q - P_f V_f - P_i V_i + W' \Rightarrow (U_f + P_f V_f) - (U_i + P_i V_i) = Q + W'$$

En posant $H = U + PV$ la fonction d'état enthalpie du système, il apparaît :

$$\Delta H = Q + W'$$

À savoir avant de commencer...

Comment s'expriment les variations d'énergie interne et d'enthalpie pour les phases condensées ?

L'énergie interne U peut se présenter sous la forme $U = e_c + e_p$, elle dépend alors de la température T par les énergies cinétiques microscopiques e_c et du volume V par les énergies potentielles intérieures e_p . Il est possible d'écrire $U(T, V)$. La capacité thermique à volume constant est définie par :

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$$

De façon analogue, la capacité thermique à pression constante est définie par :

$$C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P$$

C_V et C_P sont des grandeurs extensives qui s'expriment en $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$. C_V (resp. C_P) représente la quantité d'énergie qu'il faut fournir au système pour élever sa température de 1 K (ou 1 °C) à volume constant (resp. à pression constante).

Une phase condensée (solide ou liquide) est très peu dilatable (son volume ne varie pratiquement pas avec la température) par conséquent, sa variation d'énergie interne dépend seulement de la variation de la température :

$$dU \approx C_V dT$$

Pour la variation d'enthalpie, $dH = d(U + PV) = dU + d(PV)$ mais dans le cas de phases condensées $d(PV) \ll dU$ par conséquent $dU \approx dH$ et on confond $C_P \approx C_V$ qui est alors notée C et appelée capacité thermique de la phase condensée sans plus de précision. Pour une masse m , la capacité thermique massique est $c = C/m$ (en $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) et :

$$dH \approx dU = mcdT$$

Comme on considère généralement c indépendant de T dans un domaine de température raisonnable (et sans changement d'état) :

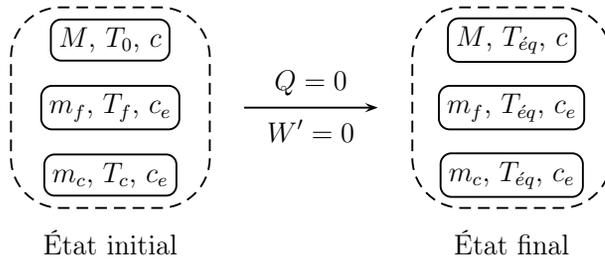
$$\Delta U \approx \Delta H = mc\Delta T$$

Indications

- Estimer la quantité d'eau chaude nécessaire pour le bain.
- Calculer le coût énergétique de cette eau chaude.

Réponse

Il faut d'abord estimer la masse m_f d'eau froide (à $T_f = 18^\circ\text{C}$) et la masse m_c d'eau chaude (à $T_c = 68^\circ\text{C}$) à introduire dans la baignoire de masse M (capacité thermique massique c et température initiale $T_0 = 21^\circ\text{C}$) pour avoir une température finale d'équilibre $T_{\text{éq}} = 38^\circ\text{C}$. Le système d'étude est constitué des masses m_f , m_c et M qui évoluent de la façon suivante :



L'évolution considérée est monobare et adiabatique ($Q = 0$ car les pertes thermiques sont négligées), le premier principe appliqué au système (sans travail autre que celui des forces pressantes, $W' = 0$) donne :

$$\Delta H_{M,m_c,m_f} = 0$$

Comme H est une fonction extensive :

$$\Delta H_{M,m_c,m_f} = \Delta H_M + \Delta H_{m_c} + \Delta H_{m_f} = 0$$

La variation des enthalpies de chaque sous-système s'écrit :

- $\Delta H_M = Mc(T_{\text{éq}} - T_0)$
- $\Delta H_{m_f} = m_f c_e (T_{\text{éq}} - T_f)$
- $\Delta H_{m_c} = m_c c_e (T_{\text{éq}} - T_c)$

d'où :

$$\begin{cases} Mc(T_{\text{éq}} - T_0) + m_f c_e (T_{\text{éq}} - T_f) + m_c c_e (T_{\text{éq}} - T_c) = 0 \\ m_c + m_f = m \end{cases}$$

La masse m correspond à la masse totale d'eau utilisée pour le bain. Comme il est rempli à ras bord, on estime à 300 L (350 L moins le volume immergé de monsieur Propre) le volume du bain et donc à 300 kg la masse d'eau. Ce système d'équation donne :

$$Mc(T_{\text{éq}} - T_0) + (m - m_c)c_e(T_{\text{éq}} - T_f) + m_c c_e (T_{\text{éq}} - T_c) = 0$$

$$m_c = \frac{Mc(T_{\text{éq}} - T_0) + m c_e (T_{\text{éq}} - T_f)}{c_e (T_{\text{éq}} - T_f) + c_e (T_c - T_{\text{éq}})} = 124 \text{ kg}$$

Échauffer une telle masse nécessite une quantité d'énergie fournie par le travail électrique du chauffe-eau qui a un coût. Il faut à présent étudier la masse m_c qui s'échauffe de T_f à T_c selon une transformation monobare et adiabatique (le chauffe-eau est très bien calorifugé) mais avec un travail électrique W' . Dans ce cas, le système étudié est l'ensemble { eau, ballon d'eau chaude et sa résistance chauffante }. Pour simplifier, on néglige la capacité thermique du ballon et de sa résistance.

$$\begin{array}{ccc} \boxed{m_c, T_f, c_e} & \xrightarrow[\substack{Q = 0 \\ W' \neq 0}]{} & \boxed{m_c, T_c, c_e} \\ \text{État initial} & & \text{État final} \end{array}$$

Le premier principe appliqué à la masse m_c donne :

$$\Delta H_{m_c} = m_c c_e (T_c - T_f) = W'$$

Numériquement le travail électrique est :

$$W' = 26 \text{ MJ}$$

Sachant que $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$ on convertit ce résultat :

$$W' = 7,2 \text{ kWh}$$

Par ailleurs la facture d'électricité indique un prix total (consommation, taxes et abonnement) de $1000,18 + 361,24 + 114,16 = 1475,58 \text{ € HT}$ soit en ajoutant 20% un prix TTC de $1770,70 \text{ €}$ pour $10\,506 \text{ kWh}$. Le prix du kWh est donc d'environ 16,9 cents.

Il apparaît ainsi que :

$$W' = 7,2 \text{ kWh représente un coût de } 1,22 \text{ €}.$$

Le prix de $2\,685 - 2\,536 = 149 \text{ m}^3$ est de $714,73 \text{ €}$ soit environ $4,80 \text{ € le m}^3$. Pour un bain de 300 L ($0,3 \text{ m}^3$) il faut payer $1,44 \text{ €}$.

Le coût total du bain de monsieur Propre est donc de $1,22 + 1,44 = 2,66 \text{ €}$.

La pipe du capitaine Haddock

Dans *Le Temple du Soleil*, Tintin et le capitaine Haddock sont faits prisonniers par les Incas avant d'être sacrifiés sur un bûcher. Le capitaine Haddock souhaite alors fumer sa pipe. . .

Haddock : Mille sabords ! J'ai perdu mes allumettes !

Tintin : Donnez-moi votre pipe, capitaine. J'ai une petite loupe. . .

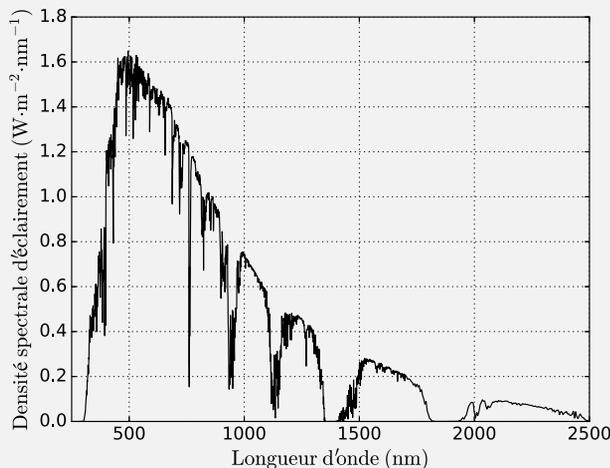
Haddock : Une loupe ? . . . Ah ! oui . . .

Mille sabords ! Ça prend !

Combien de temps faut-il au tabac pour s'enflammer ?

Données :

- La distance Terre-Soleil est $D_{\odot} = 150 \cdot 10^6$ km, et le diamètre de notre étoile est $d_{\odot} = 1,4 \cdot 10^6$ km. La lumière du Soleil nous parvient à la vitesse de $300\,000$ km·s⁻¹. Le graphe ci-dessous donne la densité spectrale d'éclairement solaire φ_{λ} au niveau du sol terrestre après traversée de l'atmosphère pour le Soleil au zénith.



- Le tabac est un produit psychoactif manufacturé élaboré à partir de feuilles séchées de plantes de tabac commun (*Nicotiana tabacum*).
 - Sa température d'auto-inflammation (ignition) est environ $T_i = 500$ °C.
 - La capacité thermique des feuilles est environ égale à $c = 2$ kJ·K⁻¹·kg⁻¹.
 - Le coefficient d'absorption du tabac est $\eta = 0,30$ (soit 70 % réfléchi).