



## La chaleur spécifique

Il est possible de calculer la quantité de chaleur  $Q$  contenue dans la matière. Il faut toutefois prendre garde que si l'on essaie d'augmenter la température d'une même masse de matière, par exemple 1 kg d'eau, 1 kg d'air ou de 1 kg de béton de  $1^{\circ}\text{C}$ , on constate qu'il ne faut pas la même quantité d'énergie selon la matière considérée. La quantité de chaleur nécessaire pour augmenter la température ne dépend donc pas seulement de la masse, mais aussi de la capacité de stockage de la chaleur de la matière. La connaissance de la chaleur spécifique  $c$  de la matière permet de calculer l'énergie qu'il est nécessaire de fournir pour élever de  $1^{\circ}\text{C}$  une masse de 1 kg de cette matière ou inversement de calculer la quantité de chaleur que restitue cette même masse de matière lorsque sa température baisse de  $1^{\circ}\text{C}$ . Cette énergie est toujours basée sur 1 kg de matière et  $1^{\circ}\text{C}$  (ou K), et a comme unité  $[\text{J}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}]$  dans le système d'unité international SI.

Matière	Chaleur spécifique $C$ en $\text{kJ}/\text{kg}$ et $^{\circ}\text{C}$	Densité
Eau	4.18	1 (1 litre > 1kg)
Air sec	1	0,00125 (1 m <sup>3</sup> > 1,25 kg)
Huiles, fioul	2.00	0,8 (1 litre > 0,8 kg)
Béton	0,84	2,4 (2400 $\text{kg}/\text{m}^3$ )

L'eau l'emporte sur toutes les autres matières du tableau. Elle emmagasine par unité de volume nettement plus d'énergie que les autres matières mentionnées dans ce tableau. C'est pour cette raison que l'énorme quantité d'eau des océans a une forte influence sur le climat par le fait qu'elle est capable du fait de sa capacité calorifique d'emmagasiner la chaleur pendant la journée où l'été avec la faculté de restituer cette celle-ci pendant la nuit ou l'hiver. Il faut en effet bien plus d'énergie calorifique pour amener un litre d'eau à une température plus élevée que pour d'autres substances. L'huile a par exemple une chaleur spécifique deux fois inférieure à l'eau. Lors de calculs avec les quantités de chaleur, nous sommes donc intéressés par la masse, la chaleur spécifique  $c$  et la différence de température  $^{\circ}\text{C}$  avant et après le chauffage. La raison en est que ces critères déterminent de manière décisive quelle quantité de chaleur nous devons apporter à la matière. Si nous procédons à l'inverse et plaçons un corps chauffé dans un environnement plus froid, alors, à partir de sa masse, de sa chaleur spécifique et de la diminution de température entre le corps et son environnement, nous pouvons calculer la quantité de chaleur que ce corps a libérée. La connaissance de ces notions permet par exemple de trouver la température du mélange de deux volumes d'eau identiques de température différente.

### *Tribune libre*

Dans le cadre de la chaleur spécifique de l'eau froide et de la production d'eau chaude sanitaire, les Lutins ont posé la question suivante à Balendard :

#### **Les Lutins thermiques**

*Si l'on ajoute à un volume d'eau chaude à  $60^{\circ}\text{C}$  le même volume d'eau froide à  $10^{\circ}\text{C}$  quelle est la température du mélange en supposant qu'il n'y ait pas de déperdition thermique?*

#### **Balendard**

Étant donné que les deux volumes d'eau froide et d'eau chaude sont identiques, la réponse à votre question est  $35^{\circ}\text{C}$  puisque cette température est à mi-chemin entre  $60^{\circ}\text{C}$  et  $10^{\circ}\text{C}$ .

## Les Lutins thermiques et:

### **Les Lutins thermiques**

*Lapalisse en aurait dit autant en affirmant que si l'on ajoute à un volume d'eau froide à 10°C le même volume d'eau chaude à 60 °C on obtient de l'eau tiède à 35 °C, température bien agréable pour se doucher. Et si je vous demandais de me dire quelle est la température d'un mélange d'eau constitué de 10 m<sup>3</sup> à 5 °C et de 1,5 m<sup>3</sup> à 85°C ?*

### **Balendard**

Je serais bien incapable de vous donner une réponse exacte

### **Les Lutins thermiques**

*Je vais vous aider en reprenant le premier exemple. Il suffit d'écrire en principe de la loi sur la conservation de l'énergie que la quantité d'énergie  $Q_m$  contenue dans le mélange est égale à la somme des quantités d'énergie contenue dans l'eau froide ( $Q_{ef}$ ) et dans l'eau chaude ( $Q_{ec}$ ). Ceci en prenant comme référence la température absolue – 273 °C*

*Puisque en vertu de cette loi  $Q_m = Q_{ec} + Q_{ef}$  on peut écrire  $m$  étant la masse de l'eau froide ou de l'eau chaude et  $X$  la température du mélange :*

$$2mc(X - 273) = mc(283 - 273) + mc(333 - 273) = mc(10 + 60)$$

$$\text{Soit } 2(X - 273) = 70 \text{ et } X = 273 + 35 = 308 \text{ °K ou } X = 308 - 273 = 35 \text{ °C}$$

*On retrouve bien la valeur de 35°C que vous aviez devinée intuitivement mais l'intérêt du calcul ci-dessus est qu'il est possible de généraliser. Ce qui peut rendre service dans le cas où il est difficile de faire appel à son intuition.*

### **Balendard**

Je connaissais la loi de conservation de l'énergie mais je ne comprends pas que l'eau froide puisse apporter de l'énergie au mélange. Je constate que votre approche plus scientifique et moins intuitive que la mienne conduit au même résultat et présente l'intérêt de pouvoir être généralisée. Au moment où la hausse de la température du Rhône inquiète élus et scientifiques je me demandais quelle pouvait être l'accroissement de la température du Rhône provoquée par les 3734 Mw de la centrale nucléaire de Saint-Alban en amont de Lyon puis la diminution de sa température en aval de cette grande ville après que ses quelques 1000 m<sup>3</sup>/s soient cette fois refroidis par une généralisation du chauffage thermodynamique par PAC aquathermique dans la 2<sup>ème</sup> zone urbaine française

### **Les Lutins**

*Pour avoir la réponse à vos deux questions il vous suffit d'appliquer le principe de la conservation de l'énergie en écrivant que l'accroissement puis la diminution de la puissance véhiculée par le Rhône est égal respectivement à l'apport de puissance de la centrale de Saint-Alban puis au prélèvement de puissance provoqué par la généralisation du chauffage thermodynamique dans la grande cité lyonnaise. Vu le rendement modeste voisin de 30 % des centrales nucléaires il est probable que l'augmentation de la température du Rhône provoqué par Saint-Alban est plus important que le refroidissement et ceci même si les 2 millions d'habitants prélevaient l'eau du Rhône pour alimenter leur pompe à chaleur aquathermique. Cette énergie n'est cependant pas négligeable. Je vous renvoie à ce sujet aux chaînes énergétiques et à la formule  $v^2_{\text{moy}} = 3kT$  faisant intervenir la constante de Boltzmann  $k$ . Cette formule prouve que la température est bien représentative de l'énergie et liée à la vitesse des molécules. Le terme  $cQT$  représente la puissance thermique potentielle véhiculée par l'eau froide du Rhône (Voir page 185 le transport de l'énergie). Elle est considérable par rapport à l'action humaine. Alors que la vitesse des molécules est nulle à la température absolue de – 273°C, elle reste considérable à la température de 10°C (-263°K) Sachez que je connais et respecte votre opinion sur la formidable réserve d'énergie*

## Les Lutins thermiques et:

*thermique renouvelable que constituent nos rivières.*

### Balendard

Je tiens à vous remercier pour vos bons conseils. Grâce à vous, je commence à mieux comprendre les fondements de la chaleur spécifique. Voilà qui pourrait être un problème de robinets intéressant à introduire par notre futur ministre de l'éducation au baccalauréat technique.

*Si  $T_1$  est la température amont et  $T_2$  la température aval et  $Q$  le débit du Rhône, on peut écrire si  $P$  est la puissance émise ou prélevée par l'homme  $T_1 - T_2 = P/Qc$*

*Avec  $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $c= 4180 \text{ joules/kg et } ^\circ\text{C}$  comme chaleur spécifique de l'eau on trouve ;*

*Pour l'accroissement provoqué par les 7400 Mw d'apport thermique du nucléaire  $T_1 - T_2 = +1,77 \text{ }^\circ\text{C}$*

*Pour la diminution provoquée par les - 4000 Mw\* de prélèvement thermique des PAC  $T_1 - T_2 = -1 \text{ }^\circ\text{C}$*

*\*Sur la base de  $40 \text{ m}^2$  habitable par habitant et de  $200 \text{ kWh/m}^2$*

## Les quantités de chaleur $Q$

La formule suivante s'applique :  $Q = m c \Delta\theta$  avec :

$m$  masse du produit en kg

$c$  chaleur spécifique du produit en joule/kg et  $^\circ\text{C}$

$\Delta\theta$  élévation ou diminution de la température du produit en  $^\circ\text{C}$

L'unité de la quantité de chaleur est le joule ou  $1000 \text{ J} = 1 \text{ kJ}$  (kilojoule). Une calorie = 4,18 joules

Le calcul qui suit effectué dans le cadre du « *cas pratique* » aide à comprendre le & à venir sur la conservation de l'énergie.

### Cas de l'eau

Par exemple, si l'on souhaite augmenter la température de quelques 3500 litres d'eau froide à  $10^\circ\text{C}$  et chauffer ce volume à  $60^\circ\text{C}$  pour disposer journalièrement du même volume d'eau chaude sanitaire à  $60^\circ\text{C}$ , on a besoin d'une énergie égale à :  $Q = Vc_e(\theta_1 - \theta_2) = 3500 \times 4,18 \times (60-10)$   
 $= 731 \text{ 000 kilojoules}$  Soit puisque  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ } 10^3 \text{ kilojoules}$  ou  $Q = 203 \text{ kWh}$  représentant sensiblement l'énergie que consomme un immeuble de 65 lots dans la journée pour assurer ses besoins sanitaire (Sans comprendre les pertes !!)

### Cas de l'air

Pour une surface totale SHON du même immeuble voisine de  $6000 \text{ m}^2$ , (65 appartements de  $60 \text{ m}^2$  + parties communes chauffées) le volume d'air à chauffer peut être estimé à  $V= 15 \text{ 600 m}^3$  (hauteur de plafond 2,6m). Compte tenu de la densité de l'air sec,  $1 \text{ m}^3$  d'air correspond à 1,25 kg soit une masse  $m$  de l'air contenu dans notre immeuble à l'intérieur de l'enveloppe de  $15 \text{ 600} \times 1,25 = 19 \text{ 500 kg}$ .

Si l'on souhaite assurer le renouvellement de cet air le matin pour des questions d'hygiène de vie alors que la température extérieure est de  $0^\circ\text{C}$ , il faut fournir une quantité de chaleur pour réchauffer cet air à  $20^\circ\text{C}$ , température courant dans les appartements de  $Q = Vc_a(\theta_1 - \theta_2) =$

$19 \text{ 500} \times 1 \times 20 = 390 \text{ 000 kilojoules}$ . Soit puisque  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ } 10^3 \text{ kilojoules}$  ou  $Q = 110 \text{ kWh}$

### Cas du béton

$6000 \text{ m}^2$  de planchers en béton de 18 cm d'épaisseur entraîne un volume de béton total de  $1080 \text{ m}^3$  soit avec une densité de 2,4 une masse correspondante  $m$  de  $1080 \times 2,4 = 2590 \text{ tonnes}$

L'inertie thermique du béton étant de  $0,84 \text{ kJ/kg}$  la quantité d'énergie restituée par ces planchers lorsqu'ils se refroidissent de  $3^\circ\text{C}$  lorsque l'on coupe le chauffage est de :  $Q = mc_b(\theta_1 - \theta_2) =$

$2 \text{ 590 000} \times 0,84 \times 3 = 6 \text{ 531 000 kilojoules}$  ou  $Q = 1800 \text{ kWh}$