

La chaleur spécifique

On peut 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 °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 considérée. 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 °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 °C. Cette énergie est toujours basée sur 1 kg de matière et 1 °C (ou K), et a comme unité [J/kg °C] dans le système d'unité international SI.

Matière	Chaleur spécifique C en kJ/kg et °C	Densité
Eau	4.18	1 (1 litre > 1 kg)
Air sec	1	0,00125 (1 m ³ > 1,25 kg)
Huiles, fioul	2.00	0,8 (1 litre > 0,8 kg)
Béton	0,84	2,4 (2 400 kg/m ³)
Bois	1,5	Variable
Acier	0,5	7,7 (7 750 kg/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. C'est pour cette raison que l'énorme quantité d'eau des océans a une forte influence sur le climat. Elle est capable, du fait de sa capacité calorifique, d'emmagasiner la chaleur pendant la journée où l'été avec la faculté de restituer celle-ci pendant la nuit ou l'hiver. Lors de calculs avec les quantités de chaleur, nous sommes donc intéressés par la masse, la chaleur spécifique C et la différence de température °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 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 °C le même volume d'eau froide à 10 °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 °C puisque cette température est à mi-chemin entre 60 °C et 10 °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 m³ à 5 °C et de 1,5 m³ 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 contenues 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 :

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

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

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. Cette méthode de calcul m'intéresse pour calculer la température du mélange de deux débits d'eau connus. Au moment où la hausse de la température du Rhône inquiète élus et scientifiques, je me demande quel pouvait être l'accroissement de la température du Rhône provoquée par les 3 734 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 quelque 1 000 m³/s soient cette fois refroidis par une généralisation du chauffage thermodynamique par PAC aquathermique dans la 2^e zone urbaine française.

Les lutins

Voilà assurément un moyen efficace pour améliorer nos conditions d'existence. Pour avoir la réponse à votre question, 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 provoquée par Saint-Alban soit plus importante que le refroidissement de l'enthalpie et ceci même si le million d'habitants de cette grande métropole prélèvent l'eau du Rhône pour alimenter leurs pompes à chaleur aquathermiques. Cette énergie n'est cependant pas négligeable. Je vous renvoie à ce sujet aux chaînes énergétiques et à la formule $v_{\text{moy}}^2 = 3 kT$ 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 186, le transport de l'énergie). Elle reste considérable par rapport à l'action humaine. Alors que la vitesse des molécules et l'énergie contenue dans la matière est nulle à la température du zéro absolue (soit – 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 thermique renouvelable que constituent nos rivières.*

**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 $T_1 - T_2 = P/Qc$*

Les lutins thermiques et :

Avec $Q = 1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ et $c = 4\,180\text{ joules/kg et }^\circ\text{C}$ comme chaleur spécifique de l'eau on trouve :

- pour l'accroissement provoqué par les $7\,400\text{ MW}$ d'apport thermique du nucléaire

$$T_1 - T_2 = + 1,77\text{ }^\circ\text{C};$$

- pour la diminution provoquée par les $-4\,000\text{ MW}^{**}$ de prélèvement thermique des PAC

$$T_1 - T_2 = -1\text{ }^\circ\text{C}. \text{ (Sur la base de } 20\text{ m}^2 \text{ habitable par habitant et de } 200\text{ kWh/m}^2\text{)}$$

Balendard

Merci beaucoup pour vos bons conseils. Grâce à vous, je commence à mieux comprendre les fondements de la chaleur spécifique. Je vais maintenant pouvoir évaluer tout l'avantage qui consiste à récupérer la chaleur fatale provenant du chauffage géothermique jusqu'ici dissipée en pure perte alors que cette récupération pourrait améliorer puissamment le chauffage thermodynamique superficiel basé sur l'hydrologie. Il me semble utile que notre futur ministre de l'Éducation introduise ces problèmes de robinets au baccalauréat technique.

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 $1\,000\text{ J} = 1\text{ kJ}$ (kilojoule). Une calorie = 4,18 joules.

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

Cas de l'eau

Pour exemple, si l'on souhaite augmenter la température de quelque 3 500 litres d'eau froide à $10\text{ }^\circ\text{C}$ et chauffer ce volume à $60\text{ }^\circ\text{C}$ pour disposer journallement du même volume d'eau chaude sanitaire à $60\text{ }^\circ\text{C}$, on a besoin d'une énergie égale à :

$$Q = Vc_e(\theta_1 - \theta_2) = 3\,500 \times 4,18 \times (60-10) \\ = 731\,000\text{ kilojoules, soit } Q = 203\text{ kWh (puisque } 1\text{ kWh} = 3,6\,10^3\text{ kilojoules),}$$

Q représente sensiblement l'énergie que consomme un immeuble de 65 lots dans la journée pour assurer ses besoins sanitaires (sans comprendre les pertes !).

On remarque qu'il faut une énergie voisine de 1 kWh pour élever 1 m^3 d'eau de $1\text{ }^\circ\text{C}$.

Cas de l'air

Pour une surface totale Shon du même immeuble voisine de $6\,000\text{ m}^2$ (65 appartements de 60 m^2 + parties communes chauffées), le volume d'air à chauffer peut être estimé à $V = 15\,600\text{ m}^3$ (hauteur de plafond 2,6 m). Compte tenu de la densité de l'air sec, 1 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 $15\,600 \times 1,25 = 19\,500\text{ kg}$.

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 $0\text{ }^\circ\text{C}$, il faut fournir une quantité de chaleur pour réchauffer cet air à $20\text{ }^\circ\text{C}$, température courante dans les appartements de $Q = Vc_a(\theta_1 - \theta_2) = 19\,500 \times 1 \times 20 = 390\,000\text{ kilojoules}$. Soit **Q = 110 kWh** puisque $1\text{ kWh} = 3,6\,10^3\text{ kilojoules}$.

Cas du béton

$6\,000\text{ m}^2$ de planchers en béton de 18 cm d'épaisseur entraînent un volume de béton total de $1\,080\text{ m}^3$ soit avec une densité de 2,4 une masse correspondante **m** de $1\,080 \times 2,4 = 2\,590\text{ tonnes}$.

La chaleur spécifique du béton étant de 0,84 kJ/kg, la quantité d'énergie restituée par ces planchers lorsqu'ils se refroidissent de $3\text{ }^\circ\text{C}$ lorsque l'on coupe le chauffage est de : $Q = mc_b(\theta_1 - \theta_2) = 2\,590\,000 \times 0,84 \times 3 = 6\,531\,000\text{ kilojoules}$ ou **Q = 1 800 kWh**.