

CALORIMÉTRIE

I : NOTION DE QUANTITÉ DE CHALEUR

Soient deux même quantités d'eau, à la même température t_1 . Chauffons l'une des deux avec un thermo-plongeur : sa température augmente et nous consommons de l'énergie électrique. D'après le principe de conservation de l'énergie, cette d'énergie doit se retrouver quelque part, ce ne peut être que dans l'eau (si on néglige les pertes vers l'extérieur). Cette énergie emmagasinée par l'eau l'a été sous forme d'énergie thermique ou calorifique.

Mélangeons maintenant ces deux masses d'eau, l'une à la température t_1 et l'autre à la température t_2 . Le mélange obtenue sera à la température t' égale à :

ou :

$$t_2 - t' = t' - t_1$$

Si nous n'avions pas les mêmes masses d'eau, par exemple les masses m_1 et m_2 , nous constatons que la température t' dépend du rapport de leurs masses :

$$(m_1 + m_2)t' = (m_1t_1 + m_2t_2)$$

$$m_2(t_2 - t') = m_1(t' - t_1)$$

Si nous avons deux liquides différents, t' dépendrait de la nature des deux liquides, en particulier pour obtenir la température t_2 , il ne faudrait pas chauffer de la même façon qu'avec l'eau. Il faut faire intervenir deux coefficients c_1 et c_2 qui traduisent la capacité des corps à stocker l'énergie thermique :

$$m_2c_2(t_2 - t') = m_1c_1(t' - t_1)$$

$$m_1c_1(t' - t_1) + m_2c_2(t' - t_2) = 0$$

La quantité $mc(t_f - t_i)$ s'appelle la chaleur Q échangée avec l'extérieur par un corps de masse m , de chaleur massique c quand sa température passe de la valeur t_i à la valeur t_f .

Cette quantité de chaleur est égale à la variation d'énergie thermique du corps : on peut donc assimiler le produit $m.c.t$ à la quantité d'énergie thermique stockée.

Si $t_f > t_i$, le corps s'est échauffé, il a reçu de l'énergie et Q est positive.

Si $t_f < t_i$, le corps s'est refroidi, il a donné de l'énergie et Q est négatif.

L'unité légale d'énergie thermique et de chaleur est le joule (J).

Autres unités : la calorie (cal), 1 cal = 4,1868 J ; la thermie, 1 thermie = 10^6 cal.

Exercice : Quel volume d'eau à 60 °C faut-il ajouter à 100 l d'eau à 20 °C pour obtenir un bain à 35 °C ?

II : CHALEURS MASSIQUES OU CAPACITÉS THERMIQUES MASSIQUES

La chaleur massique C d'un corps est la quantité de chaleur qu'il faut fournir (ou prendre) à l'unité de masse de ce corps pour que sa température s'élève (ou s'abaisse) de 1 K (ou 1 °C).

L'unité de chaleur massique est le $J.kg^{-1}.K^{-1}$ ou $J.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$.

Corps	$c (J.kg^{-1}.K^{-1})$	Corps	$c (J.kg^{-1}.K^{-1})$
eau	$4,1855.10^3$	Aluminium	$0,92.10^3$
glace	$2,1.10^3$	Fer	$0,75.10^3$
eau vapeur	$1,9.10^3$	Air	1.10^3

Exercice : Quelle quantité de chaleur faut-il fournir à un vase métallique pesant 190 g pour élever sa température de 21 °C à 41 °C ? Dans l'intervalle considéré, la chaleur massique du métal est $380 J.kg^{-1}.K^{-1}$.

III : CAPACITÉ THERMIQUE. VALEUR EN EAU.

Le produit mc s'appelle la capacité thermique C d'un corps :

$$C = mc$$

unité de C : $J.K^{-1}$.

L'équivalent en eau (ou valeur en eau) d'un système est la masse d'eau μ échangeant la même quantité de chaleur avec l'extérieur quand il subit la même variation de température :

$$m.c.T = \mu.c_e.T$$

IV : CHALEUR LATENTE

Si on a notre système qui échange de la chaleur avec l'extérieur, sa température peut rester constante : la chaleur sert à autre chose, par exemple à le faire changer d'état. La chaleur mise en jeu s'appelle alors chaleur latente.

La chaleur latente est la chaleur échangée avec l'extérieur au cours d'un changement d'état du système. On la note L .

$$Q = m.L$$

L s'exprime en $J.kg^{-1}$.

V : LA CALORIMÉTRIE

La calorimétrie est science qui s'occupe des mesures des quantités de chaleur.

Elle repose sur le principe de l'égalité des échanges de chaleur : lorsque deux corps n'échangent que de la chaleur, la quantité de chaleur gagnée par l'un est égale à celle perdue par l'autre (en valeur absolue).

Exercice : Un bloc d'aluminium de 1000 g à 80 °C est plongé dans 1 l d'eau à 20 °C. La température finale est de 30,4 °C. Quelle est la chaleur massique de l'aluminium ?

Pour ces mesures, on utilise un appareil : le calorimètre. C'est une enceinte que l'on peut considérer comme thermiquement isolante.

Dans le calorimètre de Berthelot, l'expérience est faite à l'intérieur d'un récipient appelé vase calorimétrique qui contient le liquide calorimétrique. Ce vase est placé dans une enceinte isolante.

Un deuxième type de calorimètre est le calorimètre Dewar : le récipient est à double paroi de verre, entre lesquelles un vide est fait. Les bouteilles thermos constituent l'application domestique du vase Dewar.

Méthode des mélanges :

Dans un calorimètre de Berthelot, de valeur en eau μ , on verse une masse m d'eau, le tout étant à la température T_i .

On y met alors le corps dont on veut déterminer la chaleur massique c' , sa température étant T_i' et sa masse m' .

On attend que l'équilibre se fasse, c'est-à-dire que les températures des deux corps soient égales : on la notera T_f .

On aura donc :

$$- m'.c'(T_f - T_i') = (m + \mu)c_e(T_f - T_i)$$

Exercice : $m = 200$ g ; $m' = 200$ g ; $T_i = 14,5$ °C ; $T_i' = 100$ °C ; $T_f = 21$ °C ; capacité thermique C du calorimètre : 14 J.K^{-1} ; Valeur en eau μ du calorimètre : 50 g.

Trouver la chaleur massique c' du cuivre.

Méthode électrique :

On plonge le corps dans le liquide calorimétrique. Tout est à la température T_i .

On fait passer pendant un certain temps t un courant d'intensité I , sous une tension U . En fin d'expérience, la température de l'ensemble est égale à T_f . On a :

$$U.I.t = (m.c_e + \mu.c_e + m'.c')(T_f - T_i)$$

EXERCICES

I : Un calorimètre contient 1000 g d'eau à 15 °C. On y verse 1000 g d'eau à 65,5 °C. La température du mélange étant à l'équilibre de 40 °C, calculer la capacité thermique ainsi que la valeur en eau du calorimètre.

II : Un calorimètre en laiton pesant 100 g contient 200 g d'eau et un bloc d'aluminium pesant 140 g. La température initiale étant 15 °C, on ajoute 300 g d'eau à 60 °C; la température finale est de 40 °C. Calculer la chaleur massique de l'aluminium, celle du laiton étant de 418 J.kg⁻¹.K⁻¹.

III : Sur un bloc de glace à 0 °C, on place un morceau de fer pesant 250 g et chauffé à 80 °C. Quelle est la masse de glace qui fond ?
Chaleur de fusion de la glace : 3,3.10⁵ J.kg⁻¹.
Chaleur massique du fer : 460 J.kg⁻¹.K⁻¹.

IV : Le vase calorimétrique d'un calorimètre est en aluminium, sa masse est m = 50 g.
a) Calculer la capacité thermique de ce vase sachant que la capacité thermique massique de l'aluminium vaut 920 J.kg⁻¹.K⁻¹.
b) Le calorimètre contient une masse d'eau de 100 g ($c_e = 4,19 \cdot 10^3$ J.kg⁻¹.K⁻¹); le thermomètre et les accessoires du calorimètre ont une capacité thermique de 15 J.K⁻¹, calculer la capacité thermique totale C du calorimètre.
c) La température initiale du calorimètre contenant les 100 g d'eau est $t_1 = 17,2$ °C. On introduit dans le calorimètre une certaine quantité d'eau à la température $t_2 = 100$ °C, la température d'équilibre s'établit à $t_e = 38,5$ °C.
Calculer la capacité thermique C' de l'eau introduite.
En déduire la valeur de la masse d'eau.

V : On veut refroidir un verre de jus de fruit pris à 30 °C. La capacité calorifique du verre et du jus est de 550 J.K⁻¹. On introduit alors une certaine masse m de glace à 0 °C. On veut que la température finale de l'ensemble soit de 10 °C.
On admet qu'il n'y a échange de chaleur qu'entre la glace et le verre de jus de fruit. Calculer la masse de glace nécessaire.

VI : On place dans un calorimètre une masse M = 400 g d'eau que l'on chauffe à l'aide d'une résistance électrique alimentée par un courant d'intensité 0,85 A, sous une tension de 220 V. Il en résulte un accroissement régulier de la température de l'eau de 4,86 °C par minute.
Quelle est la capacité thermique C du calorimètre ?
Trouvez la valeur en eau du calorimètre.

VII : Un calorimètre, de capacité thermique C = 120 J.K⁻¹, contient 250 g d'eau et 40 g de glace en équilibre thermique.
Quelle est sa température?

On chauffe lentement l'ensemble avec une résistance électrique. La température de l'eau du calorimètre atteint 28,8 °C lorsque la quantité de chaleur dissipée par la résistance est égale à 51530 J.
En déduire la valeur de la chaleur latente de fusion de la glace.

VIII : Écrire la réaction de combustion du propane.

Quelle est l'énergie dégagée par la combustion de 10 g de propane sachant que le pouvoir calorifique d'un alcane à n atomes de carbone vaut $(662n + 260)$ kJ.mol⁻¹ ?

Cette combustion a servi à chauffer 3 kg d'eau, dont la température de départ vaut 15 °C. Quelle est la température finale de l'eau ?

Masse molaire atomique en g.mol⁻¹ : C = 12 ; H = 1.

IX: Le débit d'eau dans un radiateur est noté q'_v . L'eau chaude pénètre dans le radiateur à la température q_1 . Elle ressort à la température q_2 . L'installation comporte dix radiateurs. La chaudière récupère l'eau provenant des radiateurs, à la température q_2 et la réchauffe à la température q_1 .

On donne : $q'_v = 0,035 \text{ L.s}^{-1}$; $q_1 = 75 \text{ }^\circ\text{C}$; $q_2 = 65 \text{ }^\circ\text{C}$; $C = 4185 \text{ J.kg}^{-1}.\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

1 - Exprimer la quantité de chaleur Q , dégagée par un radiateur en une minute.

Calculer Q .

2 - Calculer la puissance du radiateur.

3 - La chaudière utilise comme combustible du gaz. Le rendement de la combustion est de 80%. La chaleur de combustion de ce gaz est 890 kJ.mol^{-1} . Le volume molaire de ce gaz, mesuré dans les conditions de combustion est 24 L.mol^{-1} .

Calculer le débit du gaz brûlé.

CALORIMÉTRIE

I : NOTION DE QUANTITÉ DE CHALEUR

Soient deux même quantités d'eau, à la même température t_1 . Chauffons l'une des deux avec un thermo-plongeur : sa température augmente et nous consommons de l'énergie électrique. D'après le principe de conservation de l'énergie, cette d'énergie doit se retrouver quelque part, ce ne peut être que dans l'eau (si on néglige les pertes vers l'extérieur). Cette énergie emmagasinée par l'eau l'a été sous forme d'énergie thermique ou calorifique.

Mélangions maintenant ces deux masses d'eau, l'une à la température t_1 et l'autre à la température t_2 . Le mélange obtenue sera à la température t' égale à :

ou :

$$t_2 - t' = t' - t_1$$

Si nous n'avions pas les mêmes masses d'eau, par exemple les masses m_1 et m_2 , nous constatons que la température t' dépend du rapport de leurs masses :

$$(m_1 + m_2)t' = (m_1t_1 + m_2t_2)$$

$$m_2(t_2 - t') = m_1(t' - t_1)$$

Si nous avons deux liquides différents, t' dépendrait de la nature des deux liquides, en particulier pour obtenir la température t_2 , il ne faudrait pas chauffer de la même façon qu'avec l'eau. Il faut faire intervenir deux coefficients c_1 et c_2 qui traduisent la capacité des corps à stocker l'énergie thermique :

$$m_2c_2(t_2 - t') = m_1c_1(t' - t_1)$$

$$m_1c_1(t' - t_1) + m_2c_2(t' - t_2) = 0$$

La quantité $mc(t_f - t_i)$ s'appelle la chaleur Q échangée avec l'extérieur par un corps de masse m , de chaleur massique c quand sa température passe de la valeur t_i à la valeur t_f .

Cette quantité de chaleur est égale à la variation d'énergie thermique du corps : on peut donc assimiler le produit $m.c.t$ à la quantité d'énergie thermique stockée.

Si $t_f > t_i$, le corps s'est échauffé, il a reçu de l'énergie et Q est positive.

Si $t_f < t_i$, le corps s'est refroidi, il a donné de l'énergie et Q est négatif.

L'unité légale d'énergie thermique et de chaleur est le joule (J).

Autres unités : la calorie (cal), 1 cal = 4,1868 J ; la thermie, 1 thermie = 10⁶ cal.

Exercice : Quel volume d'eau à 60 °C faut-il ajouter à 100 l d'eau à 20 °C pour obtenir un bain à 35 °C ?

II : CHALEURS MASSIQUES OU CAPACITÉS THERMIQUES MASSIQUES

La chaleur massique C d'un corps est la quantité de chaleur qu'il faut fournir (ou prendre) à l'unité de masse de ce corps pour que sa température s'élève (ou s'abaisse) de 1 K (ou 1 °C).

L'unité de chaleur massique est le J.kg⁻¹.K⁻¹ ou J.kg⁻¹.°C⁻¹.

Corps	c (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	Corps	c (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
eau	4,1855.10 ³	Aluminium	0,92.10 ³
glace	2,1.10 ³	Fer	0,75.10 ³
eau vapeur	1,9.10 ³	Air	1.10 ³

Exercice : Quelle quantité de chaleur faut-il fournir à un vase métallique pesant 190 g pour élever sa température de 21 °C à 41 °C ? Dans l'intervalle considéré, la chaleur massique du métal est 380 J.kg⁻¹.K⁻¹.

III : CAPACITÉ THERMIQUE. VALEUR EN EAU.

Le produit mc s'appelle la capacité thermique C d'un corps :

$$C = mc$$

unité de C : J.K⁻¹.

L'équivalent en eau (ou valeur en eau) d'un système est la masse d'eau μ échangeant la même quantité de chaleur avec l'extérieur quand il subit la même variation de température :

$$m.c.T = \mu.c_e.T$$

IV : CHALEUR LATENTE

Si on a notre système qui échange de la chaleur avec l'extérieur, sa température peut rester constante : la chaleur sert à autre chose, par exemple à le faire changer d'état. La chaleur mise en jeu s'appelle alors chaleur latente.

La chaleur latente est la chaleur échangée avec l'extérieur au cours d'un changement d'état du système. On la note L .

$$Q = m.L$$

L s'exprime en $J.kg^{-1}$.

V : LA CALORIMÉTRIE

La calorimétrie est science qui s'occupe des mesures des quantités de chaleur.

Elle repose sur le principe de l'égalité des échanges de chaleur : lorsque deux corps n'échangent que de la chaleur, la quantité de chaleur gagnée par l'un est égale à celle perdue par l'autre (en valeur absolue).

Exercice : Un bloc d'aluminium de 1000 g à 80 °C est plongé dans 1 l d'eau à 20 °C. La température finale est de 30,4 °C. Quelle est la chaleur massique de l'aluminium ?

Pour ces mesures, on utilise un appareil : le calorimètre. C'est une enceinte que l'on peut considérer comme thermiquement isolante.

Dans le calorimètre de Berthelot, l'expérience est faite à l'intérieur d'un récipient appelé vase calorimétrique qui contient le liquide calorimétrique. Ce

vase est placé dans une enceinte isolante.

Un deuxième type de calorimètre est le calorimètre Dewar : le récipient est à double paroi de verre, entre lesquelles un vide est fait. Les bouteilles thermos constituent l'application domestique du vase Dewar.

Méthode des mélanges :

Dans un calorimètre de Berthelot, de valeur μ en eau, on verse une masse m d'eau, le tout étant à la température T_i .

On y met alors le corps dont on veut déterminer la chaleur massique c' , sa température étant T_i' et sa masse m' .

On attend que l'équilibre se fasse, c'est-à-dire que les températures des deux corps soient égales : on la notera T_f .

On aura donc :

$$- m'.c'(T_f - T_i') = (m + \mu)c_e(T_f - T_i)$$

Exercice : $m = 200 \text{ g}$; $m' = 200 \text{ g}$; $T_i = 14,5 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_i' = 100 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_f = 21 \text{ }^\circ\text{C}$; capacité thermique C du calorimètre : 14 J.K^{-1} ; Valeur en eau μ du calorimètre : 50 g .
 Trouver la chaleur massique c' du cuivre.

Méthode électrique :

On plonge le corps dans le liquide calorimétrique. Tout est à la température T_i .
 On fait passer pendant un certain temps t un courant d'intensité I , sous une tension U . En fin d'expérience, la température de l'ensemble est égale à T_f . On a :

$$U.I.t = (m.c_e + \mu.c_e + m'.c')(T_f - T_i)$$

EXERCICES

I : Un calorimètre contient 1000 g d'eau à $15 \text{ }^\circ\text{C}$. On y verse 1000 g d'eau à $65,5 \text{ }^\circ\text{C}$. La température du mélange étant à l'équilibre de $40 \text{ }^\circ\text{C}$, calculer la capacité thermique ainsi que la valeur en eau du calorimètre.

II : Un calorimètre en laiton pesant 100 g contient 200 g d'eau et un bloc d'aluminium pesant 140 g . La température initiale étant $15 \text{ }^\circ\text{C}$, on ajoute 300 g d'eau à $60 \text{ }^\circ\text{C}$; la température finale est de $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Calculer la chaleur massique de l'aluminium, celle du laiton étant de $418 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

III : Sur un bloc de glace à $0 \text{ }^\circ\text{C}$, on place un morceau de fer pesant 250 g et chauffé à $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Quelle est la masse de glace qui fond ?
 Chaleur de fusion de la glace : $3,3.10^5 \text{ J.kg}^{-1}$.
 Chaleur massique du fer : $460 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

IV : Le vase calorimétrique d'un calorimètre est en aluminium, sa masse est $m = 50 \text{ g}$.

a) Calculer la capacité thermique de ce vase sachant que la capacité thermique massique de l'aluminium vaut $920 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

b) Le calorimètre contient une masse d'eau de 100 g ($c_e = 4,19.10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$); le thermomètre et les accessoires du calorimètre ont une capacité thermique de 15 J.K^{-1} , calculer la capacité thermique totale C du calorimètre.

c) La température initiale du calorimètre contenant les 100 g d'eau est $T_1 = 17,2 \text{ }^\circ\text{C}$. On introduit dans le calorimètre une certaine quantité d'eau à la température $T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, la température d'équilibre s'établit à $T_e = 38,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Calculer la capacité thermique C' de l'eau introduite.

En déduire la valeur de la masse d'eau.

V : On veut refroidir un verre de jus de fruit pris à $30 \text{ }^\circ\text{C}$. La capacité calorifique du verre et du jus est de 550 J.K^{-1} . On introduit alors une certaine masse m de glace à $0 \text{ }^\circ\text{C}$. On veut que la température finale de l'ensemble soit de $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

On admet qu'il n'y a échange de chaleur qu'entre la glace et le verre de jus de fruit. Calculer la masse de glace nécessaire.

VI : On place dans un calorimètre une masse $M = 400$ g d'eau que l'on chauffe à l'aide d'une résistance électrique alimentée par un courant d'intensité $0,85$ A, sous une tension de 220 V. Il en résulte un accroissement régulier de la température de l'eau de $4,86$ °C par minute.

Quelle est la capacité thermique C du calorimètre ?

Trouvez la valeur en eau du calorimètre.

VII : Un calorimètre, de capacité thermique $C = 120$ J.K⁻¹, contient 250 g d'eau et 40 g de glace en équilibre thermique.

Quelle est sa température?

On chauffe lentement l'ensemble avec une résistance électrique. La température de l'eau du calorimètre atteint $28,8$ °C lorsque la quantité de chaleur dissipée par la résistance est égale à 51530 J.

En déduire la valeur de la chaleur latente de fusion de la glace.

VIII : Écrire la réaction de combustion du propane.

Quelle est l'énergie dégagée par la combustion de 10 g de propane sachant que le pouvoir calorifique d'un alcane à n atomes de carbone vaut $(662 \times n + 260)$ kJ.mol⁻¹ ?

Cette combustion a servi à chauffer 3 kg d'eau, dont la température de départ vaut 15 °C. Quelle est la température finale de l'eau ?

Masse molaire atomique en g.mol⁻¹ : C = 12 ; H = 1.

IX BAT 93 : Le débit d'eau dans un radiateur est noté q'_v . L'eau chaude pénètre dans le radiateur à la température θ_1 . Elle ressort à la température θ_2 . L'installation comporte dix radiateurs. La chaudière récupère l'eau provenant des radiateurs, à la température θ_2 et la réchauffe à la température θ_1 .

On donne : $q'_v = 0,035$ L.s⁻¹ ; $\theta_1 = 75$ °C ; $\theta_2 = 65$ °C ; $C = 4185$ J.kg⁻¹.°C⁻¹

1 - Exprimer la quantité de chaleur Q , dégagée par un radiateur en une minute.

Calculer Q .

2 - Calculer la puissance du radiateur.

3 - La chaudière utilise comme combustible du gaz. Le rendement de la combustion est de 80% . La chaleur de combustion de ce gaz est 890 kJ.mol⁻¹. Le volume molaire de ce gaz, mesuré dans les conditions de combustion, est 24 L.mol⁻¹.

Calculer le débit du gaz brûlé.

