

# Physique Tech 2

Gaël MRT

19 février 2020

# Table des matières

# Chapitre 1

## Balistique

### 1.1 Théorie

#### 1.1.1 Equations

1.  $Viy = \sin(\alpha) * Vi$
  2.  $Vix = \cos(\alpha) * Vi$
  3.  $x = Vx * t + xi$
  4.  $y = \frac{1}{2} * g * t^2 + Viy * t + yi$
  5.  $Vy = g * t + Viy$
- Viète  $\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 * a * c}}{2 * a}$

#### 1.1.2 Constantes

$$g = -9.81$$

$$Vix = Vx$$

### 1.2 Exercices

#### 1.2.1 Exercice 1

##### Enoncé

Du haut d'un plongeur de 10m, vous vous élancez avec une vitesse de 3.6 km/h et un angle de  $20^\circ$  vers le haut par rapport à l'horizontal.  
*A quel endroit allez-vous toucher l'eau ?*

##### Réponse

##### Les équations du problème

- $\vec{V_i} = (3.6[\frac{km}{h}]; 20^\circ) = (1[\frac{m}{s}]; 20^\circ)$
- $xi = 0$

- $yi = 10[m]$
- $Vxi = \cos(20) * 1 = 0.9397[\frac{m}{s}]$
- $Vyi = \sin(20) * 1 = 0.3420[\frac{m}{s}]$
- $yf = 0$
- $xf = Vx * t + xi = 0.9397 * t$

Pour trouver le temps

- $yf = \frac{1}{2} * g * t^2 + Vyi * t + yi \Rightarrow 0 = \frac{-9.81}{2} * t^2 + 0.342 * t + 10$
- $t = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 * a * c}}{2 * a} \Rightarrow t = \frac{-0.342 \pm \sqrt{0.342^2 - 4 * -4.905 * 10}}{2 * -4.905}$
- $t = \frac{-0.342 \pm 14.011}{-9.81} = -1.393[s] \text{ or } 1,463[s]$
- $t > 0$  car on ne peut pas remonter dans le temps  $t = 1.463[s]$

Pour trouver le x final

- $xf = 0.9397 * 1.463 = 1.375[m]$

On va toucher l'eau au point  $(1.375[m], 0)$

### 1.2.2 Exercice 2

#### Enoncé

Lors d'un service, Federer frappe la balle à une hauteur de 260cm et avec un angle de  $9^\circ$  vers le bas par rapport à l'horizontal. Il se trouve à 10 mètres du filet qui a une hauteur de 90 centimètres.

*Trouvez la vitesse de départ de la balle en km/h, si elle frôle le haut du filet et donner ensuite la réponse sous forme vectorielle polaire.*

#### Réponse

##### Les équations du problème

- $\vec{V}_i = (?[km/h]; 351^\circ)$
- $xi = 0$
- $yi = 2.6[m]$
- $xf = 10[m]$
- $yf = 0.9[m]$
- $Vxi = Vi * \cos(351)$
- $Vyi = Vi * \sin(351)$
- $t = ?$

Trouvons le temps

- $yf = \frac{1}{2} * g * t^2 + Vyi * t + yi \Rightarrow 0.9 = \frac{-9.81}{2} * t^2 + Vyi * t + 2.6$
- $Vyi = Vi * \sin(351)$  donc  $0.9 = \frac{-9.81}{2} * t^2 + Vi * \sin(351) * t + 2.6$
- $xf = Vxi * t + xi \Rightarrow 10 = Vxi * t$
- $Vxi = Vi * \cos(351)$  donc  $Vi = \frac{10}{\cos(351) * t}$
- $0.9 = \frac{-9.81}{2} * t^2 + \frac{10}{\cos(351) * t} * \sin(351) * t + 2.6$

On simplifie les t

- $0.9 = \frac{-9.81}{2} * t^2 + \frac{10}{\cos(351)} * \sin(351) + 2.6$
- $\frac{-9.81}{2} * t^2 = -0.1162$
- $t^2 = 0.0237$
- $t = 0.1538[s] \text{ ou } -0.1538[s]$  mais négatif impossible

Trouvons  $\vec{V}_i$

$$— Vi = \frac{10}{\cos(351)*0.1538} = 65.787[\frac{m}{s}] \Rightarrow 236.833[\frac{km}{h}]$$

$$— \vec{V}_i = (236.833[\frac{km}{h}]; 351^\circ)$$

Voici donc le resultat :  $\vec{V}_i = (236.833[\frac{km}{h}]; 351^\circ)$

## Chapitre 2

# Quantité de mouvement

### 2.1 Théorie

La quantité de mouvement est égale à la vitesse multipliée par la masse  $\vec{p} = m * \vec{v}$ . Son signe est alors  $[kg * \frac{m}{s}]$ .

La somme des quantité de mouvement avant sera toujours égale à la somme des quantité de mouvement après

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_{avant} = \sum_{i=1}^m \vec{p}_{apres}$$

Qui peut être écrit :

$$m1 * (\begin{smallmatrix} V_{1x} \\ V_{1y} \end{smallmatrix}) + m2 * (\begin{smallmatrix} V_{2x} \\ V_{2y} \end{smallmatrix}) = m3 * (\begin{smallmatrix} V_{3x} \\ V_{3y} \end{smallmatrix}) + \dots$$

### 2.2 Exercices

#### 2.2.1 Exercice 1

##### Enoncé

Une voiture de 0.9 tonnes qui fait la course avec une vitesse de 162 km/h rentre en collision avec une autre voiture de 1,4 tonnes venant de sa gauche à angle droit et qui roule normalement à 14m/s. Les 2 voitures reste ensemble après le choc

*Trouvez la  $\vec{v}$  après le choc ?*

##### Réponse

$$\begin{aligned} \vec{v}_1 &= \begin{pmatrix} 45 \\ 00 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}] \\ \vec{v}_2 &= \begin{pmatrix} +00 \\ -14 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}] \\ \vec{p}_1 &= 900 * \begin{pmatrix} 45 \\ 00 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 40500 \\ 00000 \end{pmatrix} [kg * \frac{m}{s}] \\ \vec{p}_2 &= 1400 * \begin{pmatrix} +00 \\ -14 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +00000 \\ -19600 \end{pmatrix} [kg * \frac{m}{s}] \\ \vec{p}_1 + \vec{p}_2 &= \vec{p}_3 = \begin{pmatrix} +40500 \\ -19600 \end{pmatrix} [kg * \frac{m}{s}] \\ \vec{v}_3 &= \vec{p}_3 / (m1 + m2) = \begin{pmatrix} +40500 \\ -19600 \end{pmatrix} / (900 + 1400) = \begin{pmatrix} +17.61 \\ -08.52 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}] \\ \vec{v}_3 &= \begin{pmatrix} +17.61 \\ -08.52 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}] = (19.56 [\frac{m}{s}]; 334.18^\circ) \approx (70 [\frac{km}{h}]; 334.18^\circ) \end{aligned}$$

### 2.2.2 Exercice 2

#### Enoncé

##### Arme à feu

$$\vec{p}_{balle} = ? \quad m = 4[g]$$

$$\vec{p}_{arme} = ? \quad m = 1.6[kg]$$

##### Feu !

$$\vec{p}'_{balle} = ? \quad \vec{v} = (400[\frac{m}{s}]; 180^\circ)$$

$$\vec{p}'_{arme} = ?$$

Donnez  $\vec{v}'_{arme}$  de l'arme en  $[\frac{km}{h}]$  ?

#### Réponse

##### Partie 1

$$\text{— } \vec{p}_{balle} + \vec{p}_{arme} = \vec{p}'_{balle} + \vec{p}'_{arme} \text{ car conservation de } \vec{p}$$

$$\text{— } \vec{p}_{balle} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ car } \vec{v}_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{— } \vec{p}_{arme} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ car } \vec{v}_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

##### Partie 2

$$\text{— } \vec{p}'_{balle} = \vec{v}'_{balle} \text{ balle} * m = \begin{pmatrix} -400 \\ +000 \end{pmatrix} * 0.004 = \begin{pmatrix} -1.6 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{— } \vec{p}'_{balle} + \vec{p}'_{arme} = 0$$

$$\text{— } \vec{p}'_{arme} = -\vec{p}'_{balle} = \begin{pmatrix} 1.6 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{— } \frac{\vec{p}'_{arme}}{m} = \vec{v}'_{arme} \Rightarrow \frac{\begin{pmatrix} 1.6 \\ 0 \end{pmatrix}}{1.6} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}]$$

$$\text{Donc } \vec{v}'_{arme} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow (1[\frac{m}{s}]; 0^\circ)$$

Ce qui donne  $(3.6[\frac{km}{h}]; 0^\circ)$

### 2.2.3 Exercice 3

#### Enoncé

La quantité de mouvement nous permet également de trouver la masse d'un objet.

On prend un objet B dont on connaît la masse  $(500[g])$  et la vitesse  $(\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}])$

Nous avons un objet A dont on connaît sa vitesse  $(\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}])$  mais pas sa masse

Après le choc, l'objet B est repoussé à une vitesse égale à  $\vec{v}'_B = \begin{pmatrix} 0.54 \\ 0.00 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}]$  alors que l'objet A part dans l'autre direction à une vitesse de  $2.48[\frac{m}{s}]$

#### Valeurs

$$\vec{v}_B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}]$$

$$m_B = 500[g]$$

$$\vec{v}_A = \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}]$$

$$m_A = ?$$

$$\vec{v}'_A = \begin{pmatrix} -2.48 \\ +0.00 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}]$$

$$\vec{v}'_B = \begin{pmatrix} 0.54 \\ 0.00 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}]$$

**Réponse**

$$\begin{aligned}
& - \vec{P}_A = \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix} * m_A \\
& - \vec{P}_B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} * 0.5 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\
& - \vec{P}'_B = \begin{pmatrix} 0.54 \\ 0.00 \end{pmatrix} * 0.5 = \begin{pmatrix} 0.27 \\ 0.00 \end{pmatrix} \\
& - \vec{P}'_A = \begin{pmatrix} -2.48 \\ +0.00 \end{pmatrix} * m_A \\
& - \vec{P}_A + \vec{P}_B = \vec{P}'_A + \vec{P}'_B \text{ car conservation de } \vec{P} \\
& - \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix} * m_A + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2.48 \\ +0.00 \end{pmatrix} * m_A + \begin{pmatrix} 0.27 \\ 0.00 \end{pmatrix} \\
& - \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix} * m_A - \begin{pmatrix} -2.48 \\ +0.00 \end{pmatrix} * m_A = \begin{pmatrix} 0.27 \\ 0.00 \end{pmatrix} \\
& - \begin{pmatrix} 6.48 \\ 0.00 \end{pmatrix} * m_A = \begin{pmatrix} 0.27 \\ 0.00 \end{pmatrix} \\
& - m_A = 0.041666667[kg] \Rightarrow 42[g]
\end{aligned}$$

**2.2.4 Exercice 4****Enoncé**

Une météorite de  $1[t]$  dont la vitesse est de  $(108[\frac{km}{h}]; 0^\circ)$  rentre en collision avec une autre météorite de  $4[t]$  dont la vitesse est de  $(36[\frac{km}{h}]; 50^\circ)$ . Après la collision, la deuxième météorite part avec une vitesse de  $(8[\frac{m}{s}]; 25^\circ)$

*Quel est la vitesse  $\vec{v}$  de la première météorite après la collision ?*

**Valeurs**

$$\begin{aligned}
& M1 \\
& - m1 = 1[t] \Rightarrow 1000[kg] \\
& - \vec{v}_1 = (108[\frac{km}{h}]; 0^\circ) \Rightarrow (30[\frac{m}{s}]; 0^\circ) \text{ ou } (30 * \cos(0))_{(30 * \sin(0))} = \begin{pmatrix} 30 \\ 00 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}] \\
& - \vec{v}_{1'} = ? \\
& M2 \\
& - m2 = 4[t] \Rightarrow 4000[kg] \\
& - \vec{v}_2 = (36[\frac{km}{h}]; 50^\circ) \Rightarrow (10[\frac{m}{s}]; 50^\circ) \text{ ou } (6.428)_{(7.660)} [\frac{m}{s}] \\
& - \vec{v}_{2'} = (8[\frac{m}{s}]; 25^\circ) \text{ ou } (3.381)_{(7.250)} [\frac{m}{s}]
\end{aligned}$$

**Réponse**

Calculer les quantités de mouvement

$$\begin{aligned}
& - \vec{P}_1 = \vec{v}_1 * m1 = \begin{pmatrix} 30 \\ 00 \end{pmatrix} * 1000 = \begin{pmatrix} 30000 \\ 0 \end{pmatrix} [kg * \frac{m}{s}] \\
& - \vec{P}_2 = \vec{v}_2 * m2 = \begin{pmatrix} 6.428 \\ 7.660 \end{pmatrix} * 4000 = \begin{pmatrix} 25712 \\ 30640 \end{pmatrix} [kg * \frac{m}{s}] \\
& - \vec{P}_{1'} = \vec{v}_{1'} * m1 = ? * 1000 \\
& - \vec{P}_{2'} = \vec{v}_{2'} * m2 = \begin{pmatrix} 7.250 \\ 3.381 \end{pmatrix} * 4000 = \begin{pmatrix} 29000 \\ 13524 \end{pmatrix} [kg * \frac{m}{s}] \\
& \vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_{1'} + \vec{P}_{2'} \text{ car conservation de la quantité de mouvement} \\
& - \vec{P}_{1'} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 - \vec{P}_{2'} = \begin{pmatrix} 30000 \\ 00000 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 25712 \\ 30640 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 29000 \\ 13524 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 26712 \\ 17116 \end{pmatrix} [kg * \frac{m}{s}] \\
& - \vec{v}_{1'} = \vec{P}_{1'} / m1 = \begin{pmatrix} 26712 \\ 17116 \end{pmatrix} / 1000 = \begin{pmatrix} 26.712 \\ 17.116 \end{pmatrix} [\frac{m}{s}] \Rightarrow (31.725[\frac{m}{s}]; 32.65^\circ) \Rightarrow (114.21[\frac{km}{h}]; 32.65^\circ)
\end{aligned}$$

La vitesse de la première météorite après impact est égale à  $(31.725[\frac{m}{s}]; 32.65^\circ)$ .



## Chapitre 3

# Chaleur et energie thermique

### 3.1 Théorie

#### 3.1.1 Température vs Chaleur

La température c'est l'énergie moyenne des particules exprimée en degrés. A 0 degrés Kelvin les particules sont figées.

Signe international = *Kelvin*( $K$ )

$0[K] = -273.15^{\circ}C$

La chaleur est l'énergie fournie pour augmenter ou diminuer la température. L'objet dont la température baisse expulse de la chaleur alors que si on donne de la chaleur, la température augmente.

Signe international = [ $J$ ]

#### 3.1.2 Formules

Chaleur  $Q = Eth = m * Cm * (Tf - Ti)$

—  $m$  = masse [ $kg$ ]

—  $Cm$  = Chaleur massique [ $\frac{J}{kg * K}$ ]

—  $Tf - Ti$  = Temperature ( $K$  ou  $^{\circ}C$ )

Complexe  $Q = Cs * (Tf - Ti)$

—  $Cs$  = Chaleur Spécifique [ $\frac{J}{K}$ ]

—  $Tf - Ti$  = Temperature ( $K$  ou  $^{\circ}C$ )

#### 3.1.3 Changement d'état

$Q = m * Lf$  où  $Lf$  = Chaleur latente de fusion = [ $\frac{J}{kg}$ ]

### 3.1.4 Transformation physique vs chimique

Une transformation physique est réversible alors qu'une transformation chimique ne l'est pas.

## 3.2 Exercices

### 3.2.1 Exercice 1-1

#### Enoncé

Un bol d'eau de *1litre* dont la température est de  $14^{\circ}C$ . La chaleur massique de l'eau est de  $4180[\frac{J}{kg \cdot K}]$ . *Quel est la chaleur nécessaire pour l'amener à  $90^{\circ}C$  ?*

#### Valeurs

- $m = 1litre \Rightarrow 1[kg]$
- $Cm = 4180[\frac{J}{kg \cdot K}]$
- $Tf = 90^{\circ}C$
- $Ti = 14^{\circ}C$

#### Reponse

$$— Q = Eth = m * Cm * (Tf - Ti) = 1 * 4180 * (90 - 14) = 434720[J]$$

### 3.2.2 Exercice 1-2

#### Enoncé

Le lac de Genève contient  $89[km^3]$ . La chaleur massique de l'eau est de  $4180[\frac{J}{kg \cdot K}]$ . *Quel est la chaleur nécessaire pour augmenter la température de  $2^{\circ}C$  ?*

#### Valeurs

- $m = 89km^3 = 89 * 10^{12}litres \Rightarrow 89 * 10^{12}[kg]$
- $Cm = 4180[\frac{J}{kg \cdot K}]$
- $\Delta T = 2^{\circ}C$

#### Reponse

$$— Q = Eth = m * Cm * \Delta T = 89 * 10^{12} * 4180 * 2 = 7.4404 * 10^{17}[J]$$

### 3.2.3 Exercice 2-1

#### Enoncé

Une tasse de café à  $60^{\circ}C$  de 1dl dont la chaleur massique est de  $4180[\frac{J}{kg \cdot K}]$ . On y rajoute 12[g] de crème à  $4^{\circ}C$  dont la chaleur massique est de  $3350[\frac{J}{kg \cdot K}]$ .

*A quelle température allez-vous boire le café ?*

### Valeurs

crème (1)

$$T1 = 4^{\circ}C$$

$$m1 = 12[g] = 0.012[kg]$$

$$Cm1 = 3350[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

café (2)

$$T2 = 60^{\circ}C$$

$$m2 = 1[dl] = 0.1[kg]$$

$$Cm2 = 4180[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

### Reponse

Calcul des Q :  $Q = Eth = m * Cm * (Tf - Ti)$

$$— Q1 = 0.012 * 3350 * (Tf - 4) = 40.2 * (Tf - 4) = 40.2Tf - 160.80$$

$$— Q2 = 0.1 * 4180 * (Tf - 60) = 418 * (Tf - 60) = 418Tf - 25080$$

Conservation des Q :  $Q1 + Q2 = 0$

$$— Q1 + Q2 = 458.2Tf - 24919.2 = 0$$

$$— Tf = \frac{24919.2}{458.2} = 55^{\circ}C$$

### 3.2.4 Exercice 2-2

#### Enoncé

Une tasse de café à  $60^{\circ}C$  de 1dl dont la chaleur massique est de  $4180[\frac{J}{kg \cdot K}]$ .  
On y rajoute 12[g] de crème à  $4^{\circ}C$  dont la chaleur massique est de  $3350[\frac{J}{kg \cdot K}]$ .  
On rajoute une tasse en pyrex dont la chaleur massiques est de  $830[\frac{J}{kg \cdot K}]$ .

*A quelle température allez-vous boire le café ?*

### Valeurs

crème (1)

$$T1 = 4^{\circ}C$$

$$m1 = 12[g] = 0.012[kg]$$

$$Cm1 = 3350[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

café (2)

$$T2 = 60^{\circ}C$$

$$m2 = 1[dl] = 0.1[kg]$$

$$Cm2 = 4180[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

tasse en pyrex (3)

$$T3 = 20^{\circ}C$$

$$m3 = 0.1[kg]$$

$$Cm3 = 830[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

**Reponse**

Calcul des Q :  $Q = Eth = m * Cm * (Tf - Ti)$

$$- Q1 = 0.012 * 3350 * (Tf - 4) = 40.2 * (Tf - 4) = 40.2Tf - 160.80$$

$$- Q2 = 0.1 * 4180 * (Tf - 60) = 418 * (Tf - 60) = 418Tf - 25080$$

$$- Q3 = 0.1 * 830 * (Tf - 20) = 83 * (Tf - 20) = 83Tf - 1660$$

Conservation des Q :  $Q1 + Q2 + Q3 = 0$

$$- Q1 + Q2 + Q3 = 541.2 - 26579.2 = 0$$

$$- Tf = \frac{26579.2}{541.2} = 49.1^\circ C$$

**3.2.5 Exercice 2-3****Enoncé**

Une tasse de café à  $60^\circ C$  de 1dl dont la chaleur massique est de  $4180[\frac{J}{kg*K}]$ .  
On y rajoute 12[g] de crème à  $4^\circ C$  dont la chaleur massique est de  $3350[\frac{J}{kg*K}]$ .  
On rajoute une tasse en pyrex dont la chaleur massiques est de  $830[\frac{J}{kg*K}]$ .  
On prend en compte l'air dont la chaleur massique est de  $1000[\frac{J}{kg*K}]$  et la masse volumique de  $1.28[\frac{kg}{m^3}]$ . Le volume de l'air est égal à  $0.025^2 * 0.02 * \pi = 3.927 * 10^{-5}[m^3]$ .

*A quelle température allez-vous boire le café ?*

**Valeurs**

crème (1)

$$T1 = 4^\circ C$$

$$m1 = 12[g] = 0.012[kg]$$

$$Cm1 = 3350[\frac{J}{kg*K}]$$

café (2)

$$T2 = 60^\circ C$$

$$m2 = 1[dl] = 0.1[kg]$$

$$Cm2 = 4180[\frac{J}{kg*K}]$$

tasse en pyrex (3)

$$T3 = 20^\circ C$$

$$m3 = 0.1[kg]$$

$$Cm3 = 830[\frac{J}{kg*K}]$$

air (4)

$$T4 = 20^\circ C$$

$$\rho4 = 1.28[\frac{kg}{m^3}]$$

$$V4 = 3.927 * 10^{-5}[m^3]$$

$$m4 = mV * V = 1.28 * 3.927 * 10^{-5} = 5.027 * 10^{-5}[kg]$$

$$Cm4 = 1000[\frac{J}{kg*K}]$$

**Reponse**

Calcul des Q :  $Q = Eth = m * Cm * (Tf - Ti)$

$$\begin{aligned}
- Q1 &= 0.012 * 3350 * (Tf - 4) = 40.2 * (Tf - 4) = 40.2Tf - 160.80 \\
- Q2 &= 0.1 * 4180 * (Tf - 60) = 418 * (Tf - 60) = 418Tf - 25080 \\
- Q3 &= 0.1 * 830 * (Tf - 20) = 83 * (Tf - 20) = 83Tf - 1660 \\
- Q4 &= (5.027 * 10^{-5}) * 1000 * (Tf - 20) = (5.027 * 10^{-2}) * (Tf - 20) = \\
&\quad (5.027 * 10^{-2})Tf - 1.005 \\
\text{Conservation des Q : } Q1 + Q2 + Q3 + Q4 &= 0 \\
- Q1 + Q2 + Q3 + Q4 &= 541.25Tf - 26579.2 = 0 \\
- Tf &= \frac{26579.2}{541.25} = 49.11^\circ C
\end{aligned}$$

### 3.2.6 Exercice 3

#### Enoncé

Une tasse de café à  $60^\circ C$  de 1dl dont la chaleur massique est de  $4180[\frac{J}{kg \cdot K}]$ . On y rajoute 12[g] de crème à  $4^\circ C$  dont la chaleur massique est de  $3350[\frac{J}{kg \cdot K}]$ . On rajoute une tasse en pyrex dont la chaleur massiques est de  $830[\frac{J}{kg \cdot K}]$ . On prend en compte l'air dont la chaleur massique est de  $1000[\frac{J}{kg \cdot K}]$  et la masse volumique de  $1.28[\frac{kg}{m^3}]$ . Le café est à  $30^\circ C$  après.

*Quel était le volume d'air autour du café ?*

#### Valeurs

$$\begin{aligned}
&\text{crème (1)} \\
&\quad T1 = 4^\circ C \\
&\quad m1 = 12[g] = 0.012[kg] \\
&\quad Cm1 = 3350[\frac{J}{kg \cdot K}] \\
&\text{café (2)} \\
&\quad T2 = 60^\circ C \\
&\quad m2 = 1[dl] = 0.1[kg] \\
&\quad Cm2 = 4180[\frac{J}{kg \cdot K}] \\
&\text{tasse en pyrex (3)} \\
&\quad T3 = 20^\circ C \\
&\quad m3 = 0.1[kg] \\
&\quad Cm3 = 830[\frac{J}{kg \cdot K}] \\
&\text{air (4)} \\
&\quad T4 = 20^\circ C \\
&\quad \rho4 = 1.28[\frac{kg}{m^3}] \\
&\quad V4 = 3.927 * 10^{-5}[m^3] \\
&\quad m4 = ? \\
&\quad Cm4 = 1000[\frac{J}{kg \cdot K}]
\end{aligned}$$

#### Reponse

$$\begin{aligned}
&\text{Calcul des Q : } Q = Eth = m * Cm * (Tf - Ti) \\
- Q1 &= 0.012 * 3350 * (30 - 4) = 1045.2[J] \\
- Q2 &= 0.1 * 4180 * (30 - 60) = -12540[J]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - Q3 = 0.1 * 830 * (30 - 20) = 830[J] \\
& - Q4 = (?) * 1000 * (30 - 20) = (?) * 10^4 \\
& \text{Conservation des Q : } Q1 + Q2 + Q3 + Q4 = 0 \\
& - Q1 + Q2 + Q3 + Q4 = -10664.8 + (?) * 10^4 = 0 \\
& - (?) = \frac{10664.8}{10^4} = 1.06648[kg] \\
& - V4 = \frac{1.06648}{\rho^4} = 0.833[m^3]
\end{aligned}$$

### 3.2.7 Exercice 4

#### Enoncé

Un thermos dont l'exterieur est à  $20^\circ C$  dans lequel on met 1litre d'eau à  $90^\circ C$ . Après beaucoup de temps, on vérifie la température de l'eau qui est arrivé à  $89^\circ C$ .

*Quel est la Chaleur Spécifique du thermos ?*

#### Valeurs

$$\begin{aligned}
& \text{eau (1)} \\
& \quad Ti1 = 90^\circ C \\
& \quad Tf1 = 89^\circ C \\
& \quad \rho1 = 998[\frac{kg}{m^3}] \\
& \quad V1 = 1[l] = 1[dm^3] = 0.001[m^3] \\
& \quad m1 = 0.998[kg] \\
& \quad Cm1 = 4180[\frac{J}{kg*K}] \\
& \text{thermos (2)} \\
& \quad Ti2 = 20^\circ C \\
& \quad Tf2 = 80^\circ C \\
& \quad Cs2 = ?
\end{aligned}$$

#### Reponse

$$\begin{aligned}
& \text{Calcul du Q de l'eau : } Q = Cm * m * (Tf - Ti) \\
& - Q1 = 4180 * 0.998 * (89 - 90) = -4171.64[J] \\
& \text{Calcul du Q du thermos : } Q = Cs * (Tf - Ti) \\
& - Q2 = ? * (89 - 20) \\
& \text{Conservation de Q : } Q1 + Q2 = 0 \\
& - Q2 = -Q1 \\
& - ? * 69 = -(-4171.64) \\
& - ? = 4171.64/69 = 60.459[\frac{J}{K}]
\end{aligned}$$

La chaleur spécifique du thermos est de  $60.459[\frac{J}{K}]$ .

### 3.2.8 Exercice 5

#### Enoncé

*Quel est la Chaleur massique du machin qu'on sait pas ?*

**Valeurs**

eau (1)

$$Cm = 4180[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

$$m = 400[g] \text{ ou } 0.4[kg]$$

$$Ti = 20^\circ C$$

$$Tf = 21.4^\circ C$$

onsaispas (2)

$$Cm = ?[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

$$m = 50[g] \text{ ou } 0.05[kg]$$

$$Ti = 400^\circ C$$

$$Tf = 21.4^\circ C$$

calorimètre (3)

$$Cs = 80[\frac{J}{K}]$$

$$Ti = 20^\circ C$$

$$Tf = 21.4^\circ C$$

**Reponse**Calcul des Q :  $Q = Cm * m * (Tf - Ti)$ 

$$- Q1 = 4180 * 0.4 * (21.4 - 20) = 2340.8[J]$$

$$- Q2 = Cm2 * 0.05 * (21.4 - 400)$$

$$- Q3 = Cs3 * (Tf - Ti3) = 80 * (21.4 - 20) = 112[J]$$

Conservation des Q :  $Q1 + Q2 + Q3 = 0$ 

$$- 2340.8 + Q2 + 112 = 0$$

$$- Q2 = -2452.8$$

$$- Cm2 = \frac{-2452.8}{0.05 * (21.4 - 400)} = 129.5721078[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

La chaleur massique du matériau est de  $129.5721078[\frac{J}{kg \cdot K}]$ .**3.2.9 Exercice 6****Enoncé**

Un glaçon de 10[g] se retrouve en une flaque après plusieurs heures.

*Quel est l'énergie absorbée ?***Valeurs**

glace (1)

$$Cm = 2060[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

$$m = 10[g] \text{ ou } 0.01[kg]$$

$$Ti = -18^\circ C$$

$$Tf = 0^\circ C$$

fusion (2)

$$m = 10[g] \text{ ou } 0.01[kg]$$

$$Lf = 3.3 * 10^5[\frac{J}{kg}]$$

eau (3)

$$\begin{aligned}
Cm &= 4180[\frac{J}{kg \cdot K}] \\
m &= 10[g] \text{ ou } 0.01[kg] \\
Ti &= 0^\circ C \\
Tf &= 21^\circ C
\end{aligned}$$

### Reponse

Calcul de Q1 et Q3 :  $Q = Cm * m * (Tf - Ti)$

$$- Q1 = 2060 * 0.01 * (0 - (-18)) = 370.8[J]$$

$$- Q3 = 4180 * 0.01 * (21 - 0) = 877.8[J]$$

Calcul de Q2 :  $Q = m * Lf$

$$- Q2 = 0.01 * 3.3 * 10^5 = 3300[J]$$

Calcul du Qtotal :  $Qtot = Q1 + Q2 + Q3$

$$- Qtot = 370.8 + 877.8 + 3300 = 4548.6[J]$$

Le glaçon à développer 4548.6[J] pour se retrouver en flaque. La fusion comprend 72.5% de cette energie.

### 3.2.10 Exercice 7

#### Enoncé

un verre en pyrex 830  $\frac{J}{kg \cdot K}$  de masse 100[g] à une température de 20°C remplie avec 3dl de coca (4000  $\frac{J}{kg \cdot K}$ ) à 11°C des glaçons à -5°C. Sachant qu'un glaçon est en forme de cube avec un côté de 2cm

*Combien de glaçons pour arriver à 5°C*

#### Valeurs

pyrex (1)

$$Cm = 830[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

$$m = 100[g]$$

$$Ti = 20^\circ C$$

coca (2)

$$Cm = 4000[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

$$mv = 1036[\frac{kg}{m^3}]$$

$$V = 3[dl]$$

$$Ti = 11^\circ C$$

glace (3)

$$Cm = 2060[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

$$mV = 917[\frac{kg}{m^3}]$$

$$V = 8[m^3]$$

$$Ti = -5^\circ C$$

eau (4)

$$Cm = 4180[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

$$m = m_{\text{glaçon}}$$

$$Ti = 0^\circ C$$



$$Tf \ 5^{\circ}C$$

$$L_{eau} \ 3.3 * 10^5 [\frac{J}{kg}]$$

**Reponse**

Calcul des masses manquantes :  $m = V * mv$

$$— m2 = 3 * 10^{-4} * 1036 = 3.108 * 10^{-1} [kg]$$

$$— m3 = 8 * 10^{-6} * 917 = 7.336 * 10^{-3} [kg]$$

Calcul des Q :  $Q = Cm * m * (Tf - Ti)$

$$— Q1 = 830 * 0.1 * (5 - 20) = -1245 [J]$$

$$— Q2 = 4000 * 3.108 * 10^{-1} * (5 - 11) = -7459.2 [J]$$

$$— Q3 = 2060 * 7.336 * 10^{-3} * (0 - (-5)) = 75.5608 [J]$$

$$— Q4 = 4180 * 7.336 * 10^{-3} * (5 - 0) = 153.3224 [J]$$

Calcul du changement de la glace :  $Q = m * Lf$

$$— Q34 = 7.336 * 10^{-3} * 3.3 * 10^5 = 2420.88 [J]$$

Q par Glaçon ajouté

$$— Qg = Q3 + Q4 + Q34 = 2420.88 + 153.3224 + 75.5608 = 2649.7632 [J]$$

Conservation des Q :  $Q1 + Q2 + Qg * x = 0$  ou  $x$  est le nombre de glaçons

$$— -1245 - 7459.2 + 2649.7632 * x = 0$$

$$— 2649.7632 * x = 8704.2$$

$$— x = 8704.2 / 2649.7632 = 3.28 \text{ glaçons}$$

Afin de refroidir sa boisson, il faudra mettre 4 glaçons ou 24.06208 [g] de glaçon

**3.2.11 Exercice 8****Enoncé**

Deux verres identiques remplis avec la même masse d'eau avec 1dl d'eau à  $15^{\circ}C$ . Dans l'un, on met 10[g] d'eau liquide à  $0^{\circ}C$ . Dans l'autre, on met un glaçon de 10[g] à  $0^{\circ}C$

*Quels sont les températures finales des deux verres ?*

**Valeurs**

eau Verre (1)

$$Ti = 15^{\circ}C$$

$$V = 1 [dl] = 0.001 [m^3]$$

$$Cm = 4180 [\frac{J}{kg * K}]$$

$$mv = 998 [\frac{kg}{m^3}]$$

$$m = 0.998 [kg]$$

eau (2)

$$m = 10 [g]$$

$$Ti = 0^{\circ}C$$

$$Cm = 4180 [\frac{J}{kg * K}]$$

transformation du glaçon (3)

$$m = 10 [g]$$

$$\begin{aligned}
Ti &= 0^\circ C \\
Cm &= 2060[\frac{J}{kg \cdot K}] \\
Lf &= 3.3 * 10^5[\frac{J}{kg}]
\end{aligned}$$

**Reponse**

Calcul des Q1 et Q2 :  $Q = Cm * m * (Tf - Ti)$

- $Q1 = 4180 * 0.0998 * (Tf - 15) = 417.164Tf - 6257.46$
- $Q2 = 4180 * 0.01 * (Tf - 0) = 41.8Tf$

Transformation de Q3 :  $Q = Lf * m$

- $Q3 = 3.3 * 10^5 * 1 * 10^{-2} = 3.3 * 10^3[J] = 3300[J]$

Calcul Tf avec de l'eau :  $Q1 + Q2 = 0$  car conservation des Q

- $417.164Tf - 6257.46 + 41.8Tf = 458.964Tf - 6257.46 = 0$
- $458.964Tf = 6257.46$
- $Tf = \frac{6257.46}{458.964} = 13.63^\circ C$

Calcul Tf en rajoutant les glaçons :  $Q1 + Q2 + Q3 = 0$  car conservation des Q

- $417.164Tf - 6257.46 + 41.8Tf + 3300 = 458.964Tf - 2957.46 = 0$
- $458.964Tf = 2957.46$
- $Tf = \frac{2957.46}{458.964} = 6.44^\circ C$

La température finale avec des glaçons est de  $6.44^\circ C$  alors qu'elle est de  $13.63^\circ C$  avec de l'eau

Une différence de  $7.19^\circ C$  montre que mettre des glaçons est bien plus utile que de mettre de l'eau froide.

**3.2.12 Exercice 9****Enoncé**

On rajoute de la glace à  $-18^\circ C$  dans un bassin dont la chaleur spécifique est de  $80[\frac{J}{K}]$  et la température à  $5^\circ C$  qui est déjà rempli de  $1l$  d'eau à  $5^\circ C$

Quel quantité de glace faut-il mettre pour :

*Faire fondre la glace entièrement et atteindre  $0^\circ C$*

*Geler totalement l'eau du bassin*

**Valeurs**

eauVerre (1)

$$\begin{aligned}
Ti &= 15^\circ C \\
V &= 1[dl] = 0.001[m^3] \\
Cm &= 4180[\frac{J}{kg \cdot K}] \\
mv &= 998[\frac{kg}{m^3}] \\
m &= 0.998[kg]
\end{aligned}$$

eau (2)

$$\begin{aligned}
m &= 10[g] \\
Ti &= 0^\circ C
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Cm &= 4180 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right] \\
\text{transformation du glaçon (3)} \\
m &= 10[g] \\
Ti &= 0^\circ C \\
Cm &= 2060 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right] \\
Lf &= 3.3 * 10^5 \left[ \frac{J}{kg} \right]
\end{aligned}$$

### Reponse

Calcul des Q :  $Q = Cm * m * (Tf - Ti)$  ou  $Q = Cs * (Tf - Ti)$

- $Q1 = 4180 * 1 * (0 - 5) = -20900[J]$
- $Q2 = 80 * (0 - 5) = -400[J]$
- $Q3 = 2060 * x - (0 - (-18)) = 37080x$

Transformation de Q :  $Q = Lf * m$

- $Q3t = 3.3 * 10^5 * x = 330000x$
- $Q1t = -3.3 * 10^5 * 1 = -330000[J]$

Descendre la température  $Q1 + Q2 + Q3 + Q3t = 0$  car conservation des Q

- $-20900 + -400 + 37080x + 330000x = 0$
- $x = \frac{21300}{367080} = 0.058025499[kg]$

*Il faudra mettre 58 grammes de glace*

Geler la bassine  $Q1 + Q2 + Q3 + Q1t = 0$  car conservation des Q

- $-20900 + -400 + 37080x - 330000 = 0$
- $x = \frac{351300}{37080} = 9.47411[kg]$

*Il faudra mettre 9.474 kilos de glace*

# Chapitre 4

## Transfert de chaleur

### 4.1 Théorie

#### 4.1.1 Conduction

Transfert par le plus proche voisin principalement dans les solides.

La Chaleur  $Q$  transmise pendant une durée  $\Delta t$  au travers d'une surface  $S$  dépend de :

Historique :  $Q = \lambda * \frac{S}{e} * (T1 - T2) * \Delta t = [J]$

- $S[m^2]$  = une surface
- $e[m]$  = une épaisseur
- $\lambda[\frac{J}{m*K*s}]$  = la conductivité thermique du matériau
- $\Delta t[s]$  = la difference de temps
- $T1[K]$  = Temperature environnement 1
- $T2[K]$  = Temperature environnement 2

Resistance thermique

- $R_{tot} = \frac{e1}{\lambda1} + \frac{e2}{\lambda2} + \frac{e3}{\lambda3}$
- $R_{tot} = \sum_{i=1}^n \frac{ei}{\lambda_i} = \frac{ei}{\lambda_i} [\frac{m^2*K*s}{J}]$
- $Q = \frac{1}{R_{tot}} * S * (T1 - T2) * \Delta t$

#### 4.1.2 Convection

Transfert par déplacement de matière dans les fluides (liquides-gaz).

- $Q = S * \alpha * (T1 - T2) * \Delta t$
- $P = \frac{Q}{\Delta t} [W]$

Valeurs

- $S$  = une surface
- $\alpha[\frac{J}{m^2*K*s}]$  = coefficient de convection
- $T1[K]$  = Temperature environnement 1
- $T2[K]$  = Temperature environnement 2
- $\Delta t[s]$  = la difference de temps

### 4.1.3 Rayonnement

Transfert par onde électromagnétique.

## 4.2 Exercices

### 4.2.1 Exercice 1-1

#### Enoncé

Une vitre dont la surface est de  $2m^2$  et de  $3mm$  d'épaisseur, on l'augmente à  $1cm$  puis on prend les vitres de  $3mm$  et on en met une de chaque coté en gardant une épaisseur totale de  $1cm$ . Calculer le transfert par minute pour une vitre de  $3mm$ , une vitre de  $1cm$  et une vitre de  $1cm$  composé de deux verres de  $3mm$  séparé par de l'air.

#### Valeurs

- $T1 = 20^\circ C$
- $T2 = -5^\circ C$
- $\Delta t = 60[s]$
- $eVerre1 = 0.003[m]$
- $eVerre2 = 0.01[m]$
- $eAir = 0.004[m]$
- $\lambda Verre = 0.72[\frac{J}{m*K*s}]$
- $\lambda Air = 0.025[\frac{J}{m*K*s}]$
- $\Delta t = 60[s]$

#### Reponse

Vitre de  $3mm$

$$\begin{aligned} \text{— } R_{tot1} &= \frac{eVerre1}{\lambda Verre} = \frac{0.003}{0.72} = \frac{1}{240} [\frac{m^2*K*s}{J}] \\ \text{— } Q1 &= \frac{1}{R_{tot1}} * S * \Delta t * (T1 - T2) = 240 * 2 * 60 * (20 - -5) = \underline{720000[J]} \end{aligned}$$

Vitre de  $1cm$

$$\begin{aligned} \text{— } R_{tot2} &= \frac{eVerre2}{\lambda Verre} = \frac{0.01}{0.72} = \frac{1}{72} [\frac{m^2*K*s}{J}] \\ \text{— } Q2 &= \frac{1}{R_{tot2}} * S * \Delta t * (T1 - T2) = 72 * 2 * 60 * (20 - -5) = \underline{216000[J]} \end{aligned}$$

Vitre de  $1cm$  avec 2 vitres de  $3mm$  à chaque bout

$$\begin{aligned} \text{— } R_{tot3} &= R_{tot1} * 2 + \frac{eAir}{\lambda Air} = \frac{2}{240} + \frac{0.004}{0.025} = \frac{2}{240} + \frac{4}{25} = \frac{101}{600} [\frac{m^2*K*s}{J}] \\ \text{— } Q3 &= \frac{1}{R_{tot3}} * S * \Delta t * (T1 - T2) = \frac{600}{101} * 2 * 60 * (20 - -5) = \underline{17821.78218[J]} \end{aligned}$$

### 4.2.2 Exercice 1-2

#### Enoncé

La pièce perd  $17821[J]$  avec une température de  $20^\circ C$  au départ. Quel est sa température sachant que la pièce fait  $10m$  par  $10m$  sur une hauteur de  $3m$  et

que la masse volumique de l'air est de  $1.225[\frac{kg}{m^3}]$ . La chaleur massique de l'air est de  $1000[\frac{J}{kg \cdot K}]$ . *Quel est la temperature finale de la pièce ?*

### Valeurs

Air (1)

$$Cm = 1000[\frac{J}{kg \cdot K}]$$

$$Ti = 20^\circ C$$

$$V = 10 * 10 * 3 = 300m^3$$

$$\rho = 1.225[\frac{kg}{m^3}]$$

$$m = V * \rho = 300 * 1.225 = 367.5[kg]$$

### Reponse

$$\text{Calcul de Q : } Q = Cm * m * (Tf - Ti)$$

$$- 17821 = 1000 * 367.5 * (Tf - 20)$$

$$- \frac{17821}{367500} = -0.048492517 = (Tf - 20)$$

$$- Tf = 19.95150748^\circ C$$

Avec simple vitrage

$$- 720000 = 1000 * 367.5 * (Tf - 20)$$

$$- \frac{720000}{367500} = -1.959183673 = (Tf - 20)$$

$$- Tf = 18.04081633^\circ C$$

Ecoulé	Double vitrage	Simple vitrage
0 minute	$20^\circ C$	$20^\circ C$
1 minute	$19.95^\circ C$	$18.04^\circ C$
2 minutes	$19.90^\circ C$	$16.23^\circ C$

## Chapitre 5

# Dilatation - Contraction

### 5.1 Théorie

Conséquence d'un changement de température Par exemple, les rails étaient pas collés pour éviter les problèmes liés à la dilatation. On met maintenant des éléments ductiles (qui peut être allongé sans se rompre)

Sans espace, les rails vont "flamber" c'est à dire faire une courbure et ça risque de se fissurer et tout casser

#### 5.1.1 Solides

Si on prend un rail et qu'on augmente la température, la longueur augmente de chaque côté de  $\frac{\Delta l}{2}$ . Si un coté est bloqué, l'autre coté augmente de  $\Delta l$ .

$$\Delta l = \alpha * l1 * (T2 - T1)$$

$$\text{— } \Delta l = [m]$$

$$\text{— } \alpha = \frac{1}{K} \text{ le Coefficient de dilatation linéaire}$$

$$\text{— } l1 = [m]$$

$$\text{— } (T2 - T1) = K \text{ ou } ^\circ C$$

$$l2 = l1 + \Delta l$$

$$l2 = l1 + \alpha * l1 * (T2 - T1)$$

$$l2 = l1(1 + \alpha * (T2 - T1))$$

#### 5.1.2 Liquides

#### 5.1.3 Gazeux

### 5.2 Exercices

#### 5.2.1 Exercice 1

##### Enoncé

Calculez la variation max de la hauteur du Burj Khalifa.

**Valeurs**

Burj Khalifa

— hauteur à  $30^\circ C = 828[m]$

—  $T_{min} = 10^\circ C$

—  $T_{max} = 48^\circ C$

—  $\alpha_{beton} = 10^{-5}[\frac{1}{K}]$

**Reponse**

Calcul de  $\Delta l$  à  $T_{min}$   $\Delta l = \alpha * l * (T_2 - T_1)$

—  $\Delta l = 10^{-5} * 828 * (10 - 30) = -0.1656[m]$

Calcul de  $\Delta l_2$  à  $T_{max}$   $\Delta l_2 = \alpha * l * (T_2 - T_1)$

—  $\Delta l_2 = 10^{-5} * 828 * (48 - 30) = 0.14904[m]$

Calcul de différence max  $\Delta l_2 - \Delta l = \Delta Max$

—  $\Delta Max = 0.14904 - (-0.1656) = 0.31464[m]$

**5.2.2 Exercice 2****Enoncé**

On a 6 barres de zinc de 3 longueurs différentes. *Calculer la difference de temperature pour que les 2 rails avec 1mm d'écart se touchent si :*

— Les deux rails font 1[m]

— Les deux rails font 1[m] et sont contre quelque chose

— Un rail fait 2.2[m] et l'autre fait 1[m]

**Valeurs**

—

—  $\alpha_{zinc} = 35 * 10^{-6}[\frac{1}{K}]$

**Réponses**

Cas 1 :  $\Delta l = 1[mm] = 0.001[m]$

—  $\Delta l = \alpha * l * x$

—  $x = \frac{\Delta l}{\alpha} = \frac{0.001}{35 * 10^{-6}} = 28.57^\circ C$

Cas 2 :  $\Delta l = 0.5[mm] = 0.0005[m]$

—  $\Delta l = \alpha * l * x$

—  $x = \frac{\Delta l}{\alpha} = \frac{0.0005}{35 * 10^{-6}} = 14.29^\circ C$

Cas 3 :  $\frac{\Delta l_1}{2} + \frac{\Delta l_2}{2} = 1[mm] = 0.001[m]$

—  $\Delta l = \alpha * 1 * x + \alpha * 2.2 * x$

—  $0.001 = x(35 * 10^{-6} + 2.2 * 35 * 10^{-6})$

—  $x = \frac{0.001}{(35 * 10^{-6} + 2.2 * 35 * 10^{-6})} = 8.93^\circ C$



### 5.2.3 Exercice 3

#### Enoncé

Il faut faire rentrer une barre de cuivre dans un emplacement d'une pièce d'acier en refroidissant le cuivre avec de l'azote liquide. On veut une tolérance de  $\frac{1}{10}mm$  pour le cuivre à la température de l'azote liquide ). *Calculez la longueur de la pièce en cuivre à  $20^{\circ}C$*

#### Valeurs

Cuivre

- $\alpha_{cuivre} = 16.6 * 10^{-6} [\frac{1}{K}]$
- $l_2 = 11.99[cm] = 0.1199[m]$
- $l_1 = ?[m]$
- $T_2 = 20^{\circ}C$

Acier

- $\alpha_{acier} = 11 * 10^{-6} [\frac{1}{K}]$
- Azote liquide
- $T_{azote} = -196^{\circ}C$

#### Réponses

- $\Delta l = \alpha * l * (T_2 - T_{azote})$
- $\Delta l = 16.6 * 10^{-6} * 0.1199 * (20 - (-196)) = 4.299 * 10^{-4}[m] \approx 0.04[cm]$
- $l_1 = 0.1203299[m] \approx 12.03[cm]$