

Exercices d'oraux – oraux blancs

Table des matières

1 Exercices d'oraux – oraux blancs	1
Sommaire	1
1.1 PSI CCS 2017, CCP, thermodynamique et transferts thermiques (neige artificielle)	2
1.2 TSI CCP 2015, mécanique du point, 20 min (bille dans demi-sphère)	2
1.3 PSI CCS 2017, mécanique (constante G)	4
1.4	4
1.5 TSI CCP 2015, mécanique du point, 20 min (bille dans demi-sphère)	5
1.6 TSI 2015, CCP, magnétostatique (deux cylindres parcourus par I)	6
1.7 ATS 2015, thermodynamique (cycle de Brayton)	7
1.8 PC CCS 2017, induction (rail gun)	8
1.9 CCP – Préparation d'un ciment	9
1.10 CCP – Vidéoprojecteur	9
2 Autres	9
2.1 Vidange d'un récipient à vitesse constante	9
2.2 Mesure de longueur d'onde à l'aide du dispositif des trous d'Young	9
2.3 Barrage	9

1.1 PSI CCS 2017, CCP, thermodynamique et transferts thermiques (neige artificielle)

Correction

1. Transformation monobare avec $p = p_{\text{ext}}$: on applique le premier principe version monobare au système {goutte} entre les instants t et $t + dt$:

$$dH = \delta Q_{\text{reçu}} = -hS(T(t) - T_e)dt.$$

Or $dH = mc_l dT$ (phase condensée incompressible indilatable), donc finalement toutes simplifications faites on obtient

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{T(t)}{\tau} + \frac{T_e}{\tau}, \quad \text{avec } \tau = \frac{\rho R c_l}{3h} = 4.3 \text{ s.}$$

2. On résout l'équation précédente et on isole $t_0 = -\tau \ln \frac{T(t_0) - T_e}{T_i - T_e} = 3.95 \text{ s.}$

3. La transformation est soudaine, on peut donc supposer que les échanges de chaleur entre la goutte et l'air extérieur n'ont pas le temps d'être significatifs, et donc que la transformation est adiabatique.

La transformation est monobare, donc finalement on peut écrire $\Delta H = Q = 0$ pour le système {goutte} entre le début et la fin de la surfusion.

On décompose en étapes (fictives) :

$$0 \left| \begin{array}{l} T_1 = -5^\circ\text{C} \\ \text{masse } m \text{ liquide} \end{array} \right. \rightarrow 1 \left| \begin{array}{l} T_2 = 0^\circ\text{C} \\ \text{masse } m \text{ liquide} \end{array} \right. \rightarrow 2 \left| \begin{array}{l} T_2 = 0^\circ\text{C} \\ \text{masse } x_l m \text{ liquide et masse } x_s m \text{ solide} \end{array} \right.$$

(On suppose donc, comme le suggère l'énoncé, que l'état final est un état diphasique, si on trouve quelque chose de négatif ou de plus grand que 1 pour x_s c'est que ce n'est pas le cas et il faut recommencer.)

On a donc $0 = \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = mc_l(T_2 - T_1) + mx_s \times (-l_f)$.

$$D'où $x_s = \frac{c_l(T_2 - T_1)}{l_f} = 6.3\%$.$$

4. Bilan entre t et $t + dt$ comme à la question 1, mais cette fois on a solidification d'une masse dm d'eau, la température restant constante égale à $T_2 = 0^\circ\text{C}$. Donc :

$$-dm l_f = dH = \delta Q = -hS(T_2 - T_e)dt.$$

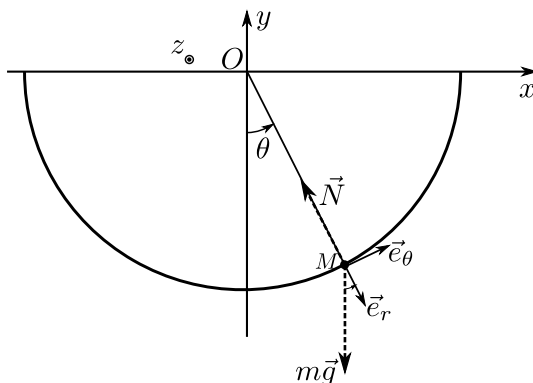
$$D'où au bout d'un temps t une masse solidifiée $\Delta m = \frac{hS}{l_f}(T_2 - T_e)t$.$$

$$\text{On veut } \Delta m = (1 - x_s)m. \text{ On isole } t : t = \frac{x_l \rho l_f}{3h(T_2 - T_e)} = 21.3 \text{ s.}$$

1.2 TSI CCP 2015, mécanique du point, 20 min (bille dans demi-sphère)

Correction

- 1.



Le mouvement est dans le plan de la figure. On utilise les **coordonnées cylindriques** d'axe z (dont le centre est le centre de la demi sphère). C'est-à-dire les vecteurs \vec{e}_r , \vec{e}_θ , \vec{e}_z tels que sur le schéma.

Bilan des forces :

$$- \text{pesanteur } m\vec{g} = -mg\vec{e}_z = mg(\cos \theta \vec{e}_r - \sin \theta \vec{e}_\theta)$$

$$- \text{réaction du support } \vec{N} = -\|\vec{N}\|\vec{e}_r.$$

On utilise les coordonnées cylindriques précisément parce que la réaction du support s'exprime simplement dans cette base.

2. Se souvenir que $\overrightarrow{OM} = R\vec{e}_r$, $\vec{v} = R\dot{\theta}\vec{e}_\theta$, et $\vec{a} = R\ddot{\theta}\vec{e}_\theta - R\dot{\theta}^2\vec{e}_r$ (se retrouve en dérivant une fois puis deux fois $R\vec{e}_r$, sachant que $\frac{d\vec{e}_r}{dt} = \dot{\theta}\vec{e}_\theta$ et $\frac{d\vec{e}_\theta}{dt} = -\dot{\theta}\vec{e}_r$).

Dans le référentiel d'étude supposé galiléen, on utilise le principe fondamental de la dynamique : $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}$, soit

$$m(R\ddot{\theta}\vec{e}_\theta - R\dot{\theta}^2\vec{e}_r) = mg(\cos\theta\vec{e}_r - \sin\theta\vec{e}_\theta) - \|\vec{N}\|\vec{e}_r.$$

On remarque bien qu'on a tout exprimé dans la base cylindrique $\vec{e}_r, \vec{e}_\theta$, ce qui est plus pratique car en projetant sur \vec{e}_θ on peut éliminer la réaction du support (qui est inconnue).

On a donc, en projection sur \vec{e}_θ :

$$mR\ddot{\theta} = -mg\sin\theta, \quad \text{soit} \quad \boxed{\ddot{\theta} + \frac{g}{R}\sin\theta = 0.}$$

3. On est obligé de linéariser pour les angles petits afin de pouvoir résoudre. Donc on a $\ddot{\theta} + \frac{g}{R}\theta = 0$, ce qui est une équation du type oscillateur harmonique.

Les solutions sont donc $\theta(t) = A\cos\omega_0 t + B\sin\omega_0 t$, avec $\boxed{\omega_0 = \sqrt{g/R}}$, et A et B des constantes.

Si par exemple à $t = 0$ on a $\dot{\theta} = 0$ et $\theta = \theta_0$, alors $\boxed{\theta(t) = \theta_0 \cos\omega_0 t.}$

4. On reprend le PFD, mais cette fois projeté sur \vec{e}_r : on a $-mR\dot{\theta}^2 = mg\cos\theta - \|\vec{N}\|$.

Pour des angles petits on peut utiliser $\cos\theta \simeq 1 - \frac{\theta^2}{2}$.

On a alors, en remplaçant θ par $\theta(t) = \theta_0 \cos\omega_0 t$: $\|\vec{N}\| = mg + mR\dot{\theta}_0^2 \sin^2\omega_0 t - \frac{mg\theta_0^2}{2} \cos^2\omega_0 t$.

5. L'énergie mécanique est $E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mgy$ avec y l'altitude de la bille.

Or $v^2 = (R\dot{\theta})^2$ et $y = -R\cos\theta$.

Donc $\boxed{E_m = \frac{1}{2}mR^2\dot{\theta}^2 - mgR\cos\theta.}$

6. L'énergie mécanique se conserve car les forces s'appliquant sur la bille sont soit conservatives (le poids, qui dérive de l'énergie potentielle mgy), soit ne travaillent pas (la réaction du support, car elle est perpendiculaire au mouvement, donc son travail $\vec{N} \cdot \vec{v}dt = 0$).

Ceci permettrait de retrouver l'équation du mouvement :

$$0 = \frac{dE_m}{dt} = \frac{1}{2}mR^2 \times 2\dot{\theta}\ddot{\theta} - mgR \times \dot{\theta}(-\sin\theta),$$

donc on retrouve bien $\ddot{\theta} + \frac{g}{R}\sin\theta = 0$.

7. Moment de la réaction du support, calculé en O : $\vec{M}_O(\vec{N}) = \overrightarrow{OM} \wedge \vec{N} = \vec{0}$.

Moment du poids, calculé en O :

$$\vec{M}_O(m\vec{g}) = \overrightarrow{OM} \wedge m\vec{g} = R\vec{e}_r \wedge mg(\cos\theta\vec{e}_r - \sin\theta\vec{e}_\theta) = -Rmg\sin\theta\vec{e}_z.$$

Moment cinétique en O : $\vec{\sigma}_O = \overrightarrow{OM} \wedge m\vec{v} = R\vec{e}_r \wedge mR\dot{\theta}\vec{e}_\theta = mR^2\dot{\theta}\vec{e}_z$.

Théorème du moment cinétique : $\frac{d\vec{\sigma}_O}{dt} = \vec{M}_O(m\vec{g}) + \vec{M}_O(\vec{N})$, soit donc $mR^2\ddot{\theta} = -Rmg\sin\theta$, c'est-à-dire encore la même chose que tout à l'heure.

8. À chacun de voir...

1.3 PSI CCS 2017, mécanique (constante G)

Correction

★ Montrer que pour des oscillations libres, on a $J\ddot{\alpha} + C\alpha = 0$ avec $J = ml^2/2$, et donc $C = J \frac{4\pi^2}{T_0^2}$.

★ L'équilibre impose $C\alpha = 2 \times \frac{l}{2} \times \frac{GmM}{d^2}$.

On isole $G = \frac{2\pi^2 d^2 l}{MT_0^2} \frac{e}{2D} = 6.56 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^{-2}$.

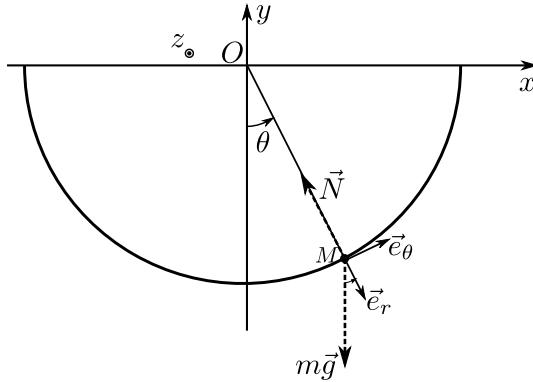
À comparer avec la valeur tabulée actuelle de $6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^{-2}$.

1.4

1.5 TSI CCP 2015, mécanique du point, 20 min (bille dans demi-sphère)

Correction

1.



Le mouvement est dans le plan de la figure. On utilise les **coordonnées cylindriques** d'axe z (dont le centre est le centre de la demi sphère). C'est-à-dire les vecteurs \vec{e}_r , \vec{e}_θ , \vec{e}_z tels que sur le schéma.

Bilan des forces :

- pesanteur $m\vec{g} = -mg\vec{e}_z = mg(\cos\theta\vec{e}_r - \sin\theta\vec{e}_\theta)$
- réaction du support $\vec{N} = -\|\vec{N}\|\vec{e}_r$.

On utilise les coordonnées cylindriques précisément parce que la réaction du support s'exprime simplement dans cette base.

2. Se souvenir que $\vec{OM} = R\vec{e}_r$, $\vec{v} = R\dot{\theta}\vec{e}_\theta$, et $\vec{a} = R\ddot{\theta}\vec{e}_\theta - R\dot{\theta}^2\vec{e}_r$ (se retrouve en dérivant une fois puis deux fois $R\vec{e}_r$, sachant que $\frac{d\vec{e}_r}{dt} = \dot{\theta}\vec{e}_\theta$ et $\frac{d\vec{e}_\theta}{dt} = -\dot{\theta}\vec{e}_r$).

Dans le référentiel d'étude supposé galiléen, on utilise le principe fondamental de la dynamique : $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}$, soit

$$m(R\ddot{\theta}\vec{e}_\theta - R\dot{\theta}^2\vec{e}_r) = mg(\cos\theta\vec{e}_r - \sin\theta\vec{e}_\theta) - \|\vec{N}\|\vec{e}_r.$$

On remarque bien qu'on a tout exprimé dans la base cylindrique \vec{e}_r , \vec{e}_θ , ce qui est plus pratique car en projetant sur \vec{e}_θ on peut éliminer la réaction du support (qui est inconnue).

On a donc, en projection sur \vec{e}_θ :

$$mR\ddot{\theta} = -mg\sin\theta, \quad \text{soit} \quad \boxed{\ddot{\theta} + \frac{g}{R}\sin\theta = 0.}$$

3. On est obligé de linéariser pour les angles petits afin de pouvoir résoudre. Donc on a $\ddot{\theta} + \frac{g}{R}\theta = 0$, ce qui est une équation du type oscillateur harmonique.

Les solutions sont donc $\theta(t) = A\cos\omega_0 t + B\sin\omega_0 t$, avec $\boxed{\omega_0 = \sqrt{g/R}}$, et A et B des constantes.

Si par exemple à $t = 0$ on a $\dot{\theta} = 0$ et $\theta = \theta_0$, alors $\boxed{\theta(t) = \theta_0 \cos\omega_0 t.}$

4. On reprend le PFD, mais cette fois projeté sur \vec{e}_r : on a $-mR\dot{\theta}^2 = mg\cos\theta - \|\vec{N}\|$.

Pour des angles petits on peut utiliser $\cos\theta \simeq 1 - \frac{\theta^2}{2}$.

On a alors, en remplaçant θ par $\theta(t) = \theta_0 \cos\omega_0 t$: $\|\vec{N}\| = mg + mR\theta_0^2\omega_0^2 \sin^2\omega_0 t - \frac{mg\theta_0^2}{2} \cos^2\omega_0 t$.

5. L'énergie mécanique est $E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mgy$ avec y l'altitude de la bille.

Or $v^2 = (R\dot{\theta})^2$ et $y = -R\cos\theta$.

Donc $\boxed{E_m = \frac{1}{2}mR^2\dot{\theta}^2 - mgR\cos\theta.}$

6. L'énergie mécanique se conserve car les forces s'appliquant sur la bille sont soit conservatives (le poids, qui dérive de l'énergie potentielle mgy), soit ne travaillent pas (la réaction du support, car elle est perpendiculaire au mouvement, donc son travail $\vec{N} \cdot \vec{v}dt = 0$).

Ceci permettrait de retrouver l'équation du mouvement :

$$0 = \frac{dE_m}{dt} = \frac{1}{2}mR^2 \times 2\dot{\theta}\ddot{\theta} - mgR \times \dot{\theta}(-\sin\theta),$$

donc on retrouve bien $\ddot{\theta} + \frac{g}{R}\sin\theta = 0$.

7. Moment de la réaction du support, calculé en O : $\vec{M}_O(\vec{N}) = \overrightarrow{OM} \wedge \vec{N} = \vec{0}$.

Moment du poids, calculé en O :

$$\vec{M}_O(m\vec{g}) = \overrightarrow{OM} \wedge m\vec{g} = R\vec{e}_r \wedge mg(\cos\theta\vec{e}_r - \sin\theta\vec{e}_\theta) = -Rmg\sin\theta\vec{e}_z.$$

$$\text{Moment cinétique en } O : \vec{\sigma}_O = \overrightarrow{OM} \wedge m\vec{v} = R\vec{e}_r \wedge mR\dot{\theta}\vec{e}_\theta = mR^2\dot{\theta}\vec{e}_z.$$

Théorème du moment cinétique : $\frac{d\vec{\sigma}_O}{dt} = \vec{M}_O(m\vec{g}) + \vec{M}_O(\vec{N})$, soit donc $mR^2\ddot{\theta} = -Rmg\sin\theta$, c'est-à-dire encore la même chose que tout à l'heure.

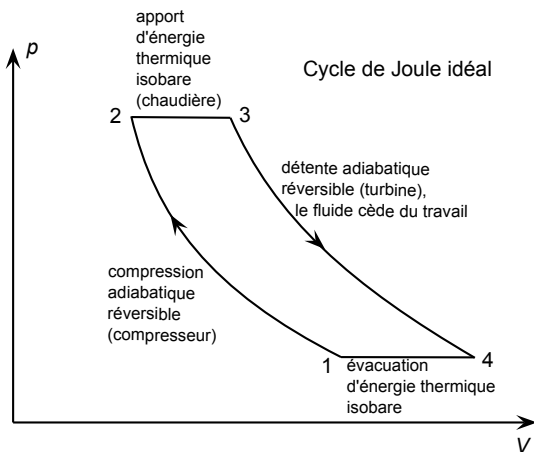
8. À chacun de voir...

1.6 TSI 2015, CCP, magnétostatique (deux cylindres parcourus par I)

1.7 ATS 2015, thermodynamique (cycle de Brayton)

Correction

1. On repère deux isobares et deux isentropiques. De plus il s'agit d'une machine motrice, donc le cycle est parcouru dans le sens horaire.



2. ★ Sans détailler :

$$\eta = \frac{-(w_{12} + w_{34})}{q_{23}} = \frac{-c_p(T_2 - T_1) - c_p(T_4 - T_3)}{c_p(T_3 - T_2)} = \frac{T_3 - T_4 + T_1 - T_2}{T_3 - T_2}$$

où les travaux sont des travaux indiqués (ou utiles) massiques.

★ Utiliser ensuite les relations de Laplace entre les points 1 et 2, et entre les points 3 et 4, afin de montrer que $T_1 T_3 = T_2 T_4$:

$$p_1^{1-\gamma} T_1^\gamma = p_2^{1-\gamma} T_2^\gamma \quad \text{et} \quad p_4^{1-\gamma} T_4^\gamma = p_3^{1-\gamma} T_3^\gamma.$$

Or on a $p_2 = p_3$ et $p_1 = p_4$. On peut donc écrire :

$$p_1^{1-\gamma} T_1^\gamma = p_2^{1-\gamma} T_2^\gamma$$

$$p_1^{1-\gamma} T_4^\gamma = p_2^{1-\gamma} T_3^\gamma.$$

En effectuant le rapport de ces deux équations, on voit que l'on a $\frac{T_1}{T_4} = \frac{T_2}{T_3}$, soit encore

$$T_2 T_4 = T_1 T_3.$$

★ On a donc pour le rendement :

$$\eta = \frac{T_3 - T_4 + T_1 - T_2}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{T_4 T_2 - T_1 T_2}{T_3 T_1 - T_2 T_1} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad \text{car } T_2 T_4 = T_1 T_3.$$

$$\text{On a donc bien } \eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}.$$

Remarque : Ceci serait à comparer avec l'expression $\eta_{\text{rév}} = 1 - \frac{T_f}{T_c} = 1 - \frac{T_3}{T_1}$, valable pour un cycle réversible, ce qui serait le cas si les échanges de chaleurs 23 et 41 étaient des échanges isothermes au contact d'un thermostat à T_1 et à T_3 . Ce n'est pas le cas ici, l'échange sont isobares et non isothermes, ils sont donc irréversibles, et l'expression de η est différente. D'ailleurs comme $T_1 < T_3$, on a $\eta < \eta_{\text{rév}}$, ce qui est normal car $\eta_{\text{rév}}$ est le rendement maximal.

★ On a écrit précédemment que $p_1^{1-\gamma} T_1^\gamma = p_2^{1-\gamma} T_2^\gamma$. On a donc $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \tau^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$, d'où

$$\eta = 1 - \frac{1}{z} \quad \text{avec} \quad z = \tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

3. On peut augmenter le rapport de compression, ou bien le coefficient γ .

Il faudra toutefois veiller à ne pas atteindre des températures trop élevées qui pourraient endommager les matériaux utilisés.

4. a. On a $\eta = 50\%$.

b. On a les relations $T_2 = zT_1 = 600 \text{ K}$ et $T_4 = T_3/z = 500 \text{ K}$.

Puis le travail récupéré est $w_{\text{cédé}} = -(w_{12} + w_{34}) = -c_p(T_2 - T_1) - c_p(T_4 - T_3) = 2.0 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Remarque : On a $w_{12} = c_p(T_2 - T_1) = 300 \text{ kJ/kg}$ et $w_{34} = c_p(T_4 - T_3) = -500 \text{ kJ/kg}$. Le travail à fournir au compresseur (300 kJ/kg) est donc significatif par rapport à celui produit par la turbine (500 kJ/kg). C'est normal pour un cycle à gaz.

c. $\Psi_{\text{net}} = D_m w_{\text{net}} = 0.2 \text{ MW}$.

1.8 PC CCS 2017, induction (rail gun)

Correction

1. Le courant I est supposé imposé par le générateur et est donc constant. La force de Laplace est donc constante et les phénomènes d'induction n'interviennent pas.

On exprime $\vec{F} = Il\vec{n} \wedge \vec{B}_0 = IlB_0\vec{e}_z$ (axe z orienté vers la droite sur la figure).

Plusieurs méthodes sont ensuite possibles :

- On utilise le théorème de l'énergie cinétique : $E_c(f) - E_c(i) = W(\vec{F})$, avec

- $E_c(f) = \frac{1}{2}mv^2$ et $v = 2.4 \times 10^3 \text{ m/s}$,

- $E_c(i) = 0$,

- $W(\vec{F}) = F \times d = IlB_0d$ car la force est constante le long du déplacement.

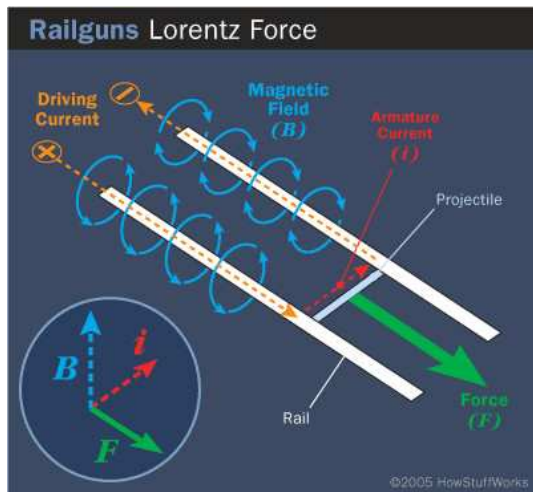
On isole ensuite B_0 .

- Méthode plus longue : On utilise le PFD : $\frac{dv}{dt} = \frac{IlB_0}{m}$ que l'on intègre pour avoir $v(t)$ puis $z(t)$.

On en déduit $v(z) = \sqrt{\frac{2ILB_0z}{m}}$. On isole B_0 .

On trouve qu'il faut plus de 10^3 T , ce qui n'est pas raisonnable.

2. C'est le champ magnétique produit par le circuit lui-même (le courant I) qui permet à la force de Laplace de se développer.



1.9 CCP – Préparation d'un ciment

Correction

1. C'est un calcul de température de flamme.

Sans détailler, on trouve $0 = n_0 \times \Delta_r H_2^0 + [2n_0 C_{p,m}^0(\text{H}_2\text{O}_{(g)}) + n_0 C_{p,m}^0(\text{CO}_{2(g)}) + 8n_0 C_{p,m}^0(\text{N}_{2(g)})] (T_f - T_0)$,

$$\text{d'où } T_f = T_0 + \frac{-\Delta_r H_2^0}{2C_{p,m}^0(\text{H}_2\text{O}_{(g)}) + C_{p,m}^0(\text{CO}_{2(g)}) + 8C_{p,m}^0(\text{N}_{2(g)})} = 2.76 \times 10^3 \text{ K.}$$

2. On considère la transformation qui consiste en le refroidissement isobare du système $\{8n_0$ moles de N_2 , n_0 moles de CO_2 , $2n_0$ moles de $\text{H}_2\text{O}\}$, de la température $T_f = 2.76 \times 10^3 \text{ K}$ à la température $T_1 = 1700 \text{ K}$. Le premier principe version H indique que :

$$\Delta H = Q_{\text{reçu}}, \text{ donc } Q_{\text{cédé}} = -\Delta H = -[2n_0 C_{p,m}^0(\text{H}_2\text{O}_{(g)}) + n_0 C_{p,m}^0(\text{CO}_{2(g)}) + 8n_0 C_{p,m}^0(\text{N}_{2(g)})] (T_1 - T_f),$$

$$\text{soit par mole d'avancement : } \boxed{Q_{\text{cédé,m}} = \frac{Q_{\text{cédé}}}{n_0} = 3.57 \times 10^2 \text{ kJ/mol.}}$$

3. L'enthalpie standard de la réaction 1 est $\Delta_r H_1^0 = 419 \text{ kJ/mol}$. La réaction est endothermique : elle a besoin de recevoir un transfert thermique positif pour pouvoir avoir lieu.

Une tonne de $\text{CaCO}_{3(s)}$ correspond à 1.0×10^4 moles de $\text{CaCO}_{3(s)}$, et donc à un avancement de la réaction

$$(1) \text{ de } \xi = \frac{1.0 \times 10^4}{3}, \text{ et donc à un transfert thermique reçu de } Q = \xi \times \Delta_r H_1^0 = 1.4 \times 10^6 \text{ kJ.}$$

Il faut alors, pour fournir ce transfert thermique, une quantité de matière de méthane CH_4 qui est $n_0 = \frac{1.4 \times 10^6 \text{ kJ}}{3.57 \times 10^2 \text{ kJ/mol}} = 3.9 \times 10^3 \text{ mol}$.

Ceci correspond à une masse $\boxed{m = 62.7 \text{ kg}}$.

1.10 CCP – Vidéoprojecteur

Correction

On connaît $|A'B'| \sim 1 \text{ m}$ (hauteur de l'écran) et $|AB| = 24 \text{ mm}$, donc on connaît le grandissement $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{3000}{24} \simeq -40$.

On connaît aussi $|OA'| \sim 3 \text{ m}$ (distance entre lentille et écran, tout ceci est approximatif!). Or on a aussi $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$, d'où on déduit $|OA| = \left| \frac{OA'}{\gamma} \right| \simeq 75 \text{ mm}$ (ce OA correspond à la distance entre le centre de la lentille et l'objet "dalle LCD").

Enfin, on peut utiliser la relation $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$. Comme $|OA'| \gg |OA|$, on a $\frac{1}{\overline{OA'}} \ll \frac{1}{\overline{OA}}$, si bien que la relation devient $-\frac{1}{\overline{OA}} \simeq \frac{1}{f'}$.

On en déduit $f' \simeq -\overline{OA}$, soit $\boxed{f' \sim 75 \text{ mm}}$.

2.1 Vidange d'un récipient à vitesse constante

2.1 – Correction $S(z)$ doit être proportionnel à \sqrt{z} .

2.2 Mesure de longueur d'onde à l'aide du dispositif des trous d'Young

2.3 Barrage