

# Exercices d'oraux – oraux blancs

## Table des matières

<b>1 Exercices d'oraux – oraux blancs</b>	<b>1</b>
<b>Sommaire</b>	<b>1</b>
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 $G$ ) . . . . .	3
1.4 . . . . .	3
1.5 TSI CCP 2015, mécanique du point, 20 min (bille dans demi-sphère) . . . . .	4
1.6 TSI 2015, CCP, magnétostatique (deux cylindres parcourus par I) . . . . .	4
1.7 ATS 2015, thermodynamique (cycle de Brayton) . . . . .	5
1.8 PC CCS 2017, induction (rail gun) . . . . .	5
1.9 CCP – Préparation d'un ciment . . . . .	7
1.10 CCP – Vidéoprojecteur . . . . .	7
<b>2 Autres</b>	<b>7</b>
2.1 Vidange d'un récipient à vitesse constante . . . . .	7
2.2 Mesure de longueur d'onde à l'aide du dispositif des trous d'Young . . . . .	8
2.3 Barrage . . . . .	8

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

source : exemples officiels CCS 2017 PSI

La neige artificielle est obtenue en pulvérisant de fines gouttes d'eau liquide supposées sphériques de rayon  $R = 0.2 \text{ mm}$  d'eau liquide à  $T_i = 10^\circ\text{C}$  dans l'air ambiant à la température  $T_e = -15^\circ\text{C}$ .

À l'interface eau-air, le flux thermique  $d\Phi$  à travers une surface  $dS$  dans le sens de la normale extérieure  $\vec{n}$  est  $d\Phi = h(T(t) - T_e)dS$ .

On donne le coefficient conducto-convectif  $h = 65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ , la chaleur latente de fusion de l'eau  $l_f = 333 \text{ kJ/kg}$ , la capacité thermique massique de l'eau liquide  $c_l = 4.2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ , et la capacité thermique massique de l'eau solide  $c_s = 2.1 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

1. Établir l'équation différentielle régissant l'évolution temporelle de la température de la goutte  $T(t)$ .
2. Déterminer le temps  $t_0$  mis par la goutte d'eau liquide pour atteindre la température de surfusion  $T(t_0) = -5^\circ\text{C}$ .
3. Lorsque la goutte atteint la température de  $-5^\circ\text{C}$ , il y a rupture de la surfusion : la température remonte brutalement à  $0^\circ\text{C}$  et la goutte est partiellement solidifiée (phénomène également brutal). Moyennant des hypothèses que vous explicitez, calculer la fraction  $x$  de liquide restant à solidifier après la rupture de la surfusion.
4. Calculer le temps nécessaire à la solidification du reste de l'eau liquide.

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

source : odt 2015 planche 130

Une bille de masse  $m$ , assimilable à un point matériel, est lâchée à l'intérieur d'une demi-sphère de rayon  $R$ , sans vitesse initiale. On néglige les frottements et on repère la position de la bille par l'angle  $\theta$  avec la verticale.

1. Faire un bilan des forces s'appliquant sur la bille.
2. Appliquer le principe fondamental de la dynamique et en déduire l'équation différentielle qui régit le mouvement de la bille.
3. Résoudre l'équation différentielle.
4. Déterminer la réaction du support à la bille.
5. Calculer l'énergie mécanique de la bille.
6. Montrer que l'énergie mécanique se conserve.
7. Appliquer le théorème du moment cinétique.
8. Quelle méthode est la plus efficace ?

### 1.3 PSI CCS 2017, mécanique (constante $G$ )

source : exemples officiels CCS 2017 PSI – 30' de préparation

1. Expliquer la mesure du couple de torsion de la balance de torsion, puis exploiter les données suivantes pour déterminer la constante de gravitation universelle.
  - Longueur de tige  $l = 2 \text{ m}$  ;
  - masses fixées à la tige :  $m = 10.105 \text{ kg}$  chacune ;
  - période du dispositif constitué :  $T_0 = 271.5 \text{ s}$  ;
  - un miroir disposé dans l'axe de la tige, il est éclairé par un spot lumineux et la lumière réfléchie est projetée sur un écran situé à  $D = 2.5 \text{ m}$  ;
  - des masses  $M = 158 \text{ kg}$  distantes de  $e = 200 \text{ mm}$  des masses de la tige (et disposées selon la figure 1) provoquent un déplacement de  $e = 2.42 \text{ mm}$  du spot lumineux sur l'écran.

On donne le moment d'inertie produit par une masse ponctuelle  $m$  située à une distance  $d$  de l'axe de rotation :  $md^2$ .

On donne également l'expression du couple de torsion (c'est un couple de rappel) exercé par le fil de torsion sur la tige :  $\Gamma = -C\alpha$  avec  $\alpha$  défini sur le schéma.

Le principe de la balance est expliqué dans le document qui suit.

#### Le principe de la balance de torsion

Charles Augustin Coulomb (1736–1806) fut l'un des premiers à utiliser ce système. Pour démontrer que la force entre deux sphères chargées est en  $1/R^2$ , il utilise une balance qui établit l'équilibre entre la force électrique et la force de torsion. Pour les expériences de Cavendish (1798) et de Boys (1895), c'est l'attraction gravitationnelle qui est compensée par la force de torsion. Ce phénomène entraîne une torsion du fil qui maintient le système en équilibre.

Initialement, les petites sphères sont dans une position stable. Lorsque l'on approche les grosses sphères des plus petites, la force d'attraction gravitationnelle entre les deux types de sphères va produire un couple tendant à faire tourner la tige. Les petites sphères s'approchent des plus grosses jusqu'à ce que la torsion du fil équilibre le couple gravitationnel.

À la nouvelle position d'équilibre, il y a égalité entre le moment du couple de torsion et le moment provoqué par la force d'attraction. Cette condition va permettre d'obtenir une relation qui sera utilisée pour la détermination de la valeur de  $G$ . Lors du changement de positions des grosses sphères, le fléau va passer d'un état d'équilibre à un autre. Il y aura rotation du fléau. La mesure de l'angle de rotation permettra de remonter au couple de torsion. Cependant ce couple fait intervenir les caractéristiques mécaniques du fil de suspension. Pour déterminer ces caractéristiques, il suffira de mesurer la période d'oscillation de la balance. Ainsi, la mesure de la période d'oscillation et la mesure de l'angle de rotation du fléau permettent d'obtenir la force d'attraction.

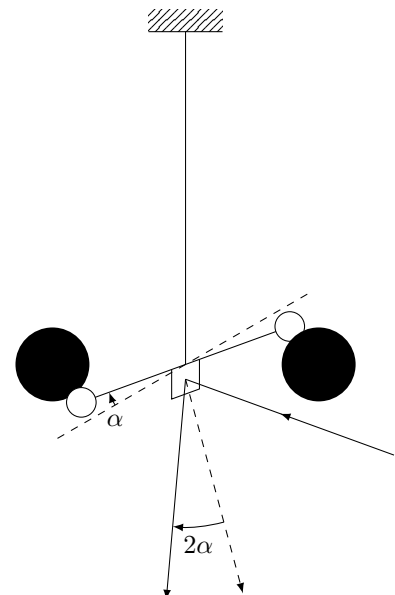


Figure 1

### 1.4

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

source : odt 2015 planche 130

Une bille de masse  $m$ , assimilable à un point matériel, est lâchée à l'intérieur d'une demi-sphère de rayon  $R$ , sans vitesse initiale. On néglige les frottements et on repère la position de la bille par l'angle  $\theta$  avec la verticale.

1. Faire un bilan des forces s'appliquant sur la bille.
2. Appliquer le principe fondamental de la dynamique et en déduire l'équation différentielle qui régit le mouvement de la bille.
3. Résoudre l'équation différentielle.
4. Déterminer la réaction du support à la bille.
5. Calculer l'énergie mécanique de la bille.
6. Montrer que l'énergie mécanique se conserve.
7. Appliquer le théorème du moment cinétique.
8. Quelle méthode est la plus efficace ?

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

source : odt 2015 planche 132

Deux cylindres infinis concentriques, de rayons respectifs  $a < b$ , sont parcourus par un courant  $I$  localisé en surface de même valeur mais de sens contraire.

1. Donner la direction du champ. De quelles variables dépend  $\vec{B}(M)$  ?
2. Donner l'expression du champ.

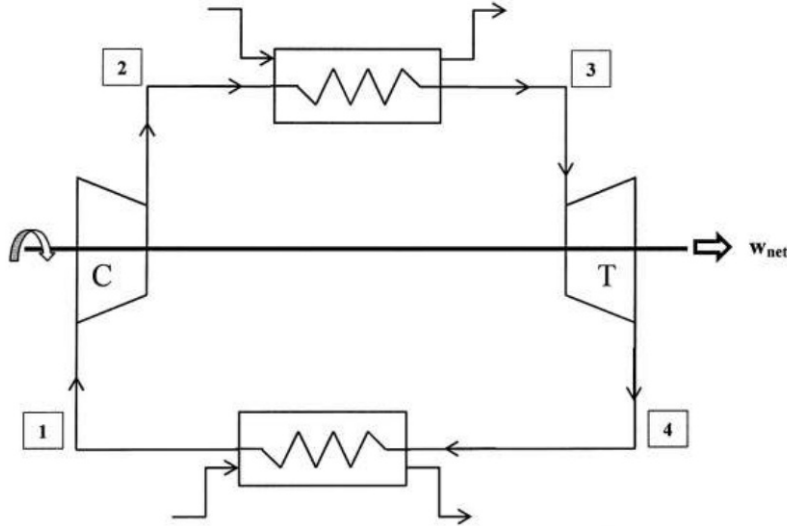
## 1.7 ATS 2015, thermodynamique (cycle de Brayton)

Pourrait tomber à CCP TSI également. source : odt 2015 planche 134

On considère le cycle théorique de Brayton :

- $1 \rightarrow 2$  est une compression isentropique où le gaz, passe de la pression  $p_1$  à la pression  $p_2$ . On pose  $\tau = p_2/p_1$ .
- $2 \rightarrow 3$  est une combustion isobare.
- $3 \rightarrow 4$  est une détente isentropique.
- $4 \rightarrow 1$  est un échappement isobare.

Les seules parties mobiles sont dans la turbine et le compresseur. Ces deux éléments sont reliés sur le même arbre. Le fluide est à l'état gazeux, que l'on modélisera par un gaz parfait de coefficient adiabatique  $\gamma$ . L'exposant adiabatique est  $\gamma = 1.4$ , et on donne  $c_p = 1.0 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  et  $c_v = 0.71 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

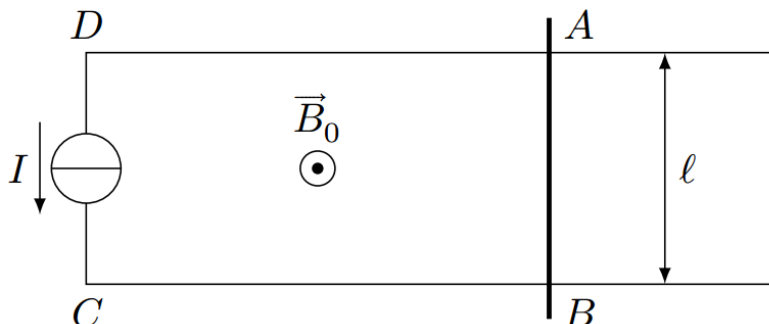


1. Tracer l'allure du cycle dans le diagramme  $p-v$ .
2. Montrer que le rendement du cycle s'écrit  $\eta = 1 - \frac{1}{\tau^{(\gamma-1)/\gamma}}$ .
3. Sur quels paramètres peut-on jouer pour augmenter le rendement ? Par quoi est-on limité en pratique ?
4. On choisit un rapport de compression tel que  $z = \tau^{(\gamma-1)/\gamma} = 2.0$ . On fait également fonctionner la turbine entre  $T_1 = 300 \text{ K}$  et  $T_3 = 1000 \text{ K}$ .
  - a. Donner la valeur numérique du rendement.
  - b. Établir également les valeurs des températures  $T_2$  et  $T_4$ , puis du travail indiqué massique récupéré par le milieu extérieur.
  - c. Quelle est alors la puissance fournie par le dispositif si le débit massique est de  $1.0 \text{ kg/s}$  ?

## 1.8 PC CCS 2017, induction (rail gun)

source : exemples officiels CCS 2017 PC

On considère le circuit électrique plan ci-dessous, dans lequel le conducteur  $AB$  peut glisser sans frottement et sans que le contact électrique soit rompu, sur les conducteurs  $DA$  et  $BC$ . On considère que l'essentiel de la résistance électrique est concentrée sur les contacts  $A$  et  $B$ . L'ensemble est placé dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B}_0$  normal au plan du circuit. On désigne par  $l$  la distance entre les rails.



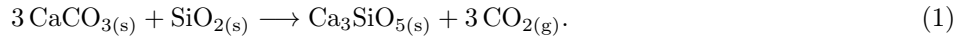
1. Le circuit est alimenté par une source de courant stationnaire  $I$ . Déterminer la valeur de  $B_0$  pour que l'on puisse accélérer la masse jusqu'à la vitesse  $v = 2.4 \times 10^3$  m/s sur une distance  $d = 3$  m si on peut produire un courant  $I = 1 \times 10^3$  A.
2. On dispose désormais d'un courant d'intensité de l'ordre de  $I = 1 \times 10^6$  A. Montrer qu'on peut atteindre une vitesse  $v$  du même ordre sur la même distance  $d$  sans utiliser de champ magnétique externe.

On donne la masse  $m$  du conducteur  $m = 500$  g, la longueur  $l = 10$  cm.

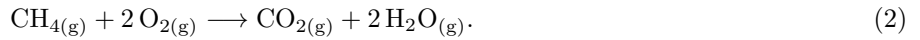
L'expression de la force de Laplace s'exerçant sur un conducteur de longueur  $l$  placé dans un champ magnétique  $\vec{B}_0$  et parcouru par un courant  $I$  orienté selon  $\vec{n}$  est  $\vec{F} = Il\vec{n} \wedge \vec{B}_0$ .

## 1.9 CCP – Préparation d'un ciment

Le ciment Portland (catégorie la plus utilisée) est élaborée par réaction, dans un four chauffé à 1700 K, d'un mélange de 80% de calcaire ( $\text{CaCO}_{3(s)}$ ) et de 20% d'argile (mélange d'oxyde de silicium  $\text{SiO}_2$  et d'oxyde d'aluminium  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Le constituant principal de ce ciment non hydraté est le silicate de calcium  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5(s)$ , formé selon la réaction totale d'équation :



L'énergie nécessaire pour alimenter le four est apportée par la combustion isobare du méthane dans l'air :



L'enthalpie standard de cette réaction est  $\Delta_r H_2^0 = -830 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  à 298 K.

Le méthane est introduit dans le four froid, initialement à 298 K, avec la quantité stœchiométrique de dioxygène sous  $P^0 = 1 \text{ bar}$ .

La réaction totale de combustion (2) permet alors d'élever la température du four (isolé thermiquement) au-delà de 1700 K. On utilise pour effectuer la réaction (1) la chaleur fournie par le retour à 1700 K des constituants issus de la réaction (2), à pression constante.

1. En supposant que la réaction (2) a lieu en conditions adiabatiques, montrer que la température finale atteinte par le milieu réactionnel est  $T_f = 2.76 \times 10^3 \text{ K}$ .
2. En déduire l'énergie thermique transférable au milieu réactionnel de la réaction (1) par un refroidissement à 1700 K des constituants issus de (2).
3. Quelle masse de méthane faut-il brûler pour transformer une tonne de  $\text{CaCO}_{3(s)}$  par la réaction (1) ?

Données :

- masses molaires ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) : H : 1, C : 12, O : 16, Ca : 40 ;
- enthalpies standard de formation à 298 K :

	$\text{CaCO}_{3(s)}$	$\text{SiO}_{2(s)}$	$\text{Ca}_3\text{SiO}_{5(s)}$	$\text{CO}_{2(g)}$
$\Delta_f H^0 (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	-1206	-910	-2930	-393

- capacités thermiques molaires standard, à pression constante :

	$\text{CH}_{4(g)}$	$\text{O}_{2(g)}$	$\text{N}_{2(g)}$	$\text{CO}_{2(g)}$	$\text{H}_2\text{O}_{(g)}$
$C_{p,m}^0 (\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$	35.3	29.4	29.1	37.1	33.6

- Composition molaire de l'air : 80% de  $\text{N}_{2(g)}$  et 20% de  $\text{O}_{2(g)}$ .

## 1.10 CCP – Vidéoprojecteur

Un vidéoprojecteur peut être modélisé par un système optique composé d'une lentille sphérique mince (L1), l'objet projeté étant une dalle LCD de 24 mm de hauteur. À partir de l'image ci-contre, déterminer la distance focale de la lentille (L1).



## 2.1 Vidange d'un récipient à vitesse constante

Un récipient de révolution (section  $S(z)$ ) se vide d'un liquide incompressible par un orifice de rayon  $a \ll \sqrt{S(z)}$  situé à sa base.

- 1 - Quelle doit être la fonction  $S(z)$  pour que la vitesse de la surface libre soit constante ?

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

On dispose de trous d'Young, d'un laser de longueur d'onde  $\lambda_0 = 633 \text{ nm}$  connue avec précision, d'un écran, d'une lentille, et d'un second laser dont on souhaite déterminer la longueur d'onde. Proposer un protocole permettant de le faire.

## 2.3 Barrage