Fascicule de TD de P1-1 : Sections 1 et 2

Capacité thermique de l'eau $c = 4,18$ kJ.kg^{-1}.K^{-1}
Constante universelle des gaz parfaits : $R = 8,314$ J.mol^{-1}.K^{-1}

Semaine 5 - Séance 1

SYSTÈMES THERMODYNAMIQUES À L'ÉQUILIBRE ET NOTION DE TRANSFORMATIONS

Exercice 1 — Étude expérimentale de différents gaz parfaits

A. On étudie expérimentalement n moles d'air à la pression $P = 1,013$ bar. On a relevé pour cela diverses valeurs de température θ et de masse volumique μ.

θ (°C)	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0
μ (kg.m^{-3})	1,293	1,270	1,247	1,226	1,205	1,184	1,165	1,146

1. Donner l'équation d'état des gaz parfaits en fonction de P, T, M (masse molaire du gaz) et μ.
2. On veut savoir si le gaz étudié expérimentalement se comporte comme un gaz parfait.
   a. Si on trace la courbe μ en fonction de $\frac{1}{T}$, que doit-on obtenir comme courbe dans le cas d'un gaz parfait ?
   b. À partir des valeurs expérimentales données, tracer μ en fonction de $\frac{1}{T}$. On utilisera les unités du système international.
   c. Le gaz est-il parfait ? Justifier votre réponse.
   d. En déduire la valeur de la masse molaire M de l'air.

B. On étudie maintenant une mole de vapeur d'eau à la température $T = 773,15$ K. On mesure, pour diverses valeurs de la pression P, les valeurs du volume V.

P (bar)	1	20	70	100
V (L)	64,3	3,17	0,87	0,59

1. Justifier que ce gaz n'est pas parfait.
2. On utilise le modèle de Van Der Walls pour décrire ce gaz.
   a. Donner l'équation d'état de ce gaz.
   b. Expliquer brièvement pourquoi on ajoute des termes par rapport à l'équation des gaz parfaits.

Exercice 2 — Transformation isochore

Un récipient clos contient un gaz à 17°C sous la pression atmosphérique.

1. À quelle température faut-il porter le gaz pour que la pression augmente de 50% ?
2. Représenter cette transformation dans le diagramme de Clapeyron $P = f(V)$.
3. Déterminer la quantité de matière n de gaz si le volume du récipient V vaut $V = 12$ L et que le gaz est initialement à la pression atmosphérique.

Exercice 3 — Application à quelques transformations particulières

Chapitre 1 – Partie VI à compléter

Exercice 4 — Suite de transformations

Un cylindre vertical initialement vide, fermé par un piston mobile sans frottement appréciable, est à la pression atmosphérique. On introduit de l'air dans le cylindre et on attend l'équilibre thermodynamique.

1. Calculer la pression du gaz sachant que le piston a une section $S = 20\text{cm}^2$ et une masse $m = 4,0$ kg.
2. La distance du piston au fond du cylindre était de $h_1 = 20$ cm. De combien se déplace le piston quand on rajoute sur sa face supérieure une masse de $M = 2,0$ kg, sachant que la température garde une valeur constante de $\theta_1 = 15$°C ?
3. À quelle température T_3 faut-il porter le gaz pour que le piston reprenne sa position initiale ?
4. Achever le calcul de toutes les variables d'état du système, puis représenter cette suite de transformations en coordonnées (P, V) sur un seul diagramme.

Semaine 6 - Séance 2

DIFFÉRENTIELLE D'UNE FONCTION D'UNE VARIABLE

Exercice 5 — Dilatation d'un cube

On considère un cube de matière d'arête $a_0 = 5$ cm ; son volume est alors égal à $V_0 = a_0^3 = 125$ cm^3.
Par dilatation thermique, l'arête du cube augmente de 10%, 1% ou 0,1%.
Remplir le tableau suivant à 10^{-2} cm^3 près, et comparer la variation de volume δV avec la différentielle du volume dV en fonction de a.
Que peut-on conclure concernant l'utilisation du calcul différentiel ?

a (cm)	5,5	5,05	5,005
ΔV (cm^3)			
dV (cm^3)			

À rédiger pour la semaine 7 - Séance 3

Exercice C1 — Gonfler une chambre à air de vélo

Considérons une chambre à air de vélo de volume une fois gonflée $V_0 = 2000$ cm^3 et une pompe à vélo composée d'un piston et d'un réservoir cylindrique de diamètre 32 mm et de longueur 50 cm, on notera son volume utile V_{pompe}.
La pompe est constituée d'un piston de masse négligeable. Lorsque le piston est tiré, le réservoir se remplit d'air issu de l'atmosphère. Lorsque le piston est poussé, tout l'air contenu dans le réservoir est transvasé dans la chambre à air de vélo.
On supposera qu'à tout instant l'air de la pompe et de la chambre à air sont à l'équilibre thermique avec l'air extérieur et que l'air extérieur est à la pression atmosphérique $P_0 = 1$ bar. Nous supposerons dans un premier temps que l'air extérieur est à la température $\theta_0 = 25°$C.

1. Déterminer la quantité de matière d'air injectée dans la chambre à air suite à un aller-retour du piston de la pompe ? Déterminer alors la pression dans la chambre à air ? Réaliser l'application numérique dans les deux cas.
2. Déterminer le nombre d'aller-retour du piston pour que la pression de la chambre à air monte à la pression $P_f = 5$ bar ? Réaliser l'application numérique.
3. Même question pour une température extérieure $\theta_1 = 0°$C. Commenter.

Exercice C2 — Un troisième modèle de gaz

Considérons un modèle de gaz que nous appellerons de type C caractérisé par l'équation d'état suivante :

$$P(V_m - b) = RT$$

avec R la constante des gaz parfaits et b une constante caractéristique du gaz.

1. Quelle est la dimension de b ? Donner une interprétation physique de cette constante (une justification est attendue).

Le diagramme d'Amagat est un diagramme dans lequel est tracée la quantité PV en fonction de P en considérant n et T constante.

2. Tracer les graphes représentant le modèle du gaz parfait dans le diagramme d'Amagat pour quelques valeurs de température. Même question pour le modèle de type C.
3. Proposer une méthode expérimentale permettant de mesurer la valeur de la constante b d'un gaz à l'aide d'un diagramme d'Amagat.
4. Comment se comporte un gaz décrit par le modèle de type C dans la limite des basses pressions ?

Semaine 7 - Séance 3

Exercice 6 — Formules d'approximation en physique

À l'aide du calcul différentiel appliqué aux petites variations, déterminer les expressions linéarisées approchées de :

- $\sin x$ au voisinage de $x = 0$
- e^x au voisinage de $x = 0$
- $\ln(1 + x)$ au voisinage de $x = 0$
- $\cos x$ au voisinage de $x = \frac{\pi}{2}$

FONCTIONS DE PLUSIEURS VARIABLES

Exercice 7 — Dérivées partielles

1. Calculer les dérivées partielles au 1^{er} ordre de la fonction $f(x,y) = \frac{x^2}{y} - x\ln x$ et écrire la différentielle df de la fonction f.
2. Calculer les dérivées partielles au 2^{eme} ordre de $f(x,y)$. Comparer.

Exercice 8 — Coefficients thermoélastiques d'un gaz parfait et d'un gaz réel

1. Exprimer, dans le cas d'un gaz parfait, les coefficients de compressibilité isotherme χ_T et de dilatation isobare α.
2. On étudie un fluide qui vérifie l'équation d'état suivante :

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = RT$$

   a. On peut écrire cette équation sous la forme $f(P,V,T) = 0$. Déterminer la différentielle df de cette fonction.

   b. En déduire les coefficients thermoélastiques du gaz.

On rappelle les définitions des coefficients de compressibilité isotherme χ_T et de dilatation isobare α.

$$\chi_T = -\frac{1}{V}\left.\frac{\partial V}{\partial P}\right|_T \text{ et } \alpha = \frac{1}{V}\left.\frac{\partial V}{\partial T}\right|_P$$

Semaine 10 - Séance 4

Contrôle 1 : Chapitre 1 + différentielles

PREMIER PRINCIPE DES SYSTÈMES FERMÉS

Exercice 9 — Intégration d'un travail élémentaire

Considérons deux états (1) et (2) d'un système constitué de n moles de gaz parfait. Les états (1) et (2) sont définis respectivement par : (P_1, V_1, T_1) et (P_2, V_2, T_2).
Envisageons également deux suites de transformations lentes qui permettent de faire passer le système de l'état (1) à l'état (2) :

* chemin ⓐ : compression isotherme
* chemin ⓑ : contraction isobare puis échauffement isochore

1. Tracer les transformations ⓐ et ⓑ sur le même diagramme (P,V).
2. Déterminer le travail des forces de pression de l'état (1) à l'état (2), sur chacun des chemins ⓐ et ⓑ. Les résultats seront exprimés en fonction des seules données : n, P_1, V_1, T_1, P_2, V_2, T_2.

   Commenter.

Exercice 10 — Transformations lentes d'un gaz parfait

Considérons un système constitué de n moles de gaz parfait, qui passe d'un état (1) défini par : (P_1, V_1, T_1) à un état (2) défini par : (P_2, V_2, T_2).
Les capacités thermiques C_V et C_P du gaz sont constantes.
Tous les résultats seront exprimés en fonction des seules données : C_V, C_P, P_1, V_1, T_1, P_2, V_2, T_2 et R.

1. Soit la compression isotherme LENTE, notée $T1$.

   a. Tracer la courbe de la fonction $P(V)$ qui représente la transformation $T1$ dans le plan de Clapeyron.

   b. Calculer le travail puis le transfert thermique reçus de l'extérieur par le gaz au cours de cette transformation.

   c. Représenter le travail reçu par le gaz dans le plan de Clapeyron.

2. Mêmes questions a et b pour chacune des transformations LENTES suivantes :
   $T2$: dilatation isobare
   $T3$: refroidissement isochore
   $T4$: détente adiabatique réversible
   $T5$: détente isotherme puis dilatation isobare
   $T6$: échauffement isochore puis contraction isobare.

Pour la semaine 11 - Séance 5

Finir l'exercice 10 **(obligatoire).**

Semaine 11 - Séance 5

Exercice 11 — Gaz parfait dans un cylindre calorifugé

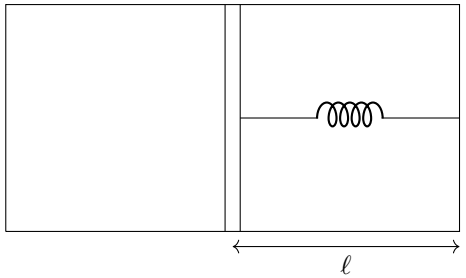
On considère un récipient cylindrique de section $\Sigma = 1,00$ cm^{2}dont la paroi supérieure est un piston qui glisse sans frottement. Ce cylindre est situé dans un laboratoire où la pression atmosphérique est $P_0 = 1,00.10^5$ Pa. Le poids du piston est négligeable devant la force due à la pression atmosphérique. Les parois du récipient et le piston sont calorifugés.
Ce récipient contient un gaz parfait monoatomique de rapport isentropique du gaz $\gamma = \frac{5}{3}$ et à l'équilibre (1) : La température vaut $T_1 = 300$ K et la hauteur du piston est $h_1 = 10,0$ cm.

1. Calculer la quantité de matière de gaz contenue dans le récipient.
2. a. On ajoute successivement sur le piston de petites masses dont la masse totale est égale à $M = 1,00$ kg, et on attend qu'un nouvel état d'équilibre (2) s'établisse.
   Déterminer la position h_2 du piston ainsi que la température T_2 du gaz.
   b. On retire ensuite successivement toutes les petites masses posées sur le piston, et on attend qu'un nouvel état d'équilibre (3) s'établisse.
   Déterminer la nouvelle position h_3 du piston ainsi que la température T_3 du gaz.
   c. Représenter ces transformations dans le diagramme de Clapeyron.
3. On ramène le système dans l'état initial (1).
   a. On place sur le piston une masse $M = 1$ kg et on attend un nouvel équilibre ($2'$). Déterminer h'_2 et T'_2.
   b. On retire la surcharge M et on attend un nouvel équilibre ($3'$). Déterminer h'_3 et T'_3.

À rédiger pour la semaine 12 - Séance 6

Exercice C3 — Piston et ressort

Considérons un piston calorifugé de masse négligeable et pouvant se déplacer dans un cylindre calorifugé horizontal de section $\Sigma = 300$cm^2.



Le compartiment de gauche contient une quantité de matière $n = 0,01$ mol de gaz supposé parfait de coefficient isentropique $\gamma = 1,4$.
Le compartiment de droite est vide de gaz et contient un ressort de raideur $k = 1,0.10^4$N.m^{-1} et de longueur à vide ℓ_0. Le ressort est fixé d'un côté au piston et de l'autre côté au cylindre. On notera ℓ la longueur du ressort.

Initialement le piston est bloqué, le ressort est à sa longueur à vide et le gaz est à température $T_i = 290$K et à pression $P_i = 1,0$ bar. À $t = 0$, on débloque le piston et on le laisse évoluer jusqu'à un état d'équilibre.
On note, dans l'état final, la pression P_f, la température T_f et le volume V_f pour le gaz et ℓ_{eq} la longueur du ressort.

1. Donner, en fonction des constantes de l'énoncé, le volume initial V_i du compartiment gauche avant que le piston ne soit débloqué. Réaliser l'application numérique.
2. En appliquant le premier principe de la thermodynamique au système gaz parfait et piston, trouver une équation reliant T_f, ℓ_{eq} et les constantes données dans l'énoncé.
3. En écrivant le PFD appliqué au piston, montrer que P_f est solution de l'équation $\left(1 + \frac{2}{\gamma-1}\right) P_f^2 + \frac{2kV_i}{(\gamma-1)\Sigma^2} P_f - \frac{2knRT_i}{(\gamma-1)\Sigma^2} = 0$.
4. Résoudre numériquement l'équation précédente et donner les valeurs numériques de P_f, V_f, T_f et $\ell_{eq} - \ell_0$. Commenter.

Rappel : Le travail d'une force de rappel de ressort pour un ressort s'allongeant de sa longueur à vide ℓ_0 et une longueur ℓ est $W_{ressort} = -\frac{1}{2}k(\ell - \ell_0)^2$.

Semaine 12 - Séance 6

Exercice 12 — Système composite

Un cylindre horizontal est divisé en deux compartiments A et B par un piston qui peut glisser sans frottement. A l'équilibre initial, chaque compartiment contient $V_0 = 20$ L d'oxygène à $\theta_0 = 27°C$ sous une pression $P_0 = 1,0.10^5$ Pa. Les parois du cylindre et le piston sont calorifugés, les gaz sont des gaz parfaits. Dans le compartiment A, une résistance chauffante de capacité thermique négligeable devant celle du gaz, est parcourue par un courant électrique. On chauffe le gaz A jusqu'à un nouvel état d'équilibre caractérisé, pour le gaz B, par : $\theta_B = 140°C$ et $P_B = 2,0.10^5$ Pa.
Rapport isentropique de l'oxygène : $\gamma = 1,4$

1. Déterminer par le calcul si la compression du gaz B est adiabatique réversible.
2. Calculer :
   a. La masse d'oxygène contenue dans chaque compartiment.
   b. Le volume final du gaz A.
   c. La température finale du gaz A.
   d. La variation d'énergie du gaz B.
   e. La variation d'énergie du gaz A.
   f. Le transfert thermique de la résistance au gaz A.
   g. Le travail reçu par le gaz B.

Semaine 13 - Séance 7

Contrôle 2 : Chapitre 2 (sauf phases condensées)

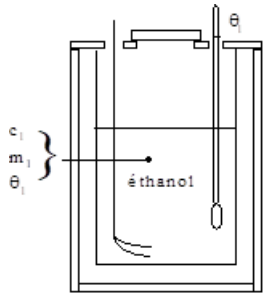
Exercice 13 — Méthode des mélanges

Données :

Substance	zinc	verre	eau
Capacité massique ($kJ.K^{-1}.kg^{-1}$)	0,38	0,80	4,18

On dispose d'un calorimètre constitué d'un vase intérieur en zinc (masse $m_z = 300$ g) et d'un agitateur en verre (masse $m_v = 50$ g). Les transferts thermiques sont négligeables entre le vase extérieur et le contenu du calorimètre.

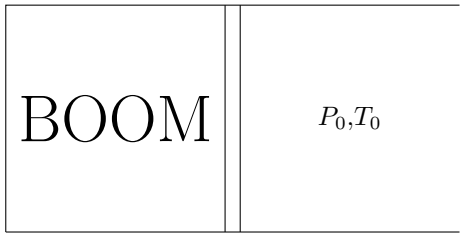
1. Calculer la capacité thermique C du calorimètre et de ses accessoires.
2. Ce dernier contient $m_1 = 400$ g d'éthanol à la température $\theta_1 = 17,5°C$; on y verse $m_2 = 200$ g d'eau à la température $\theta_2 = 24,7°C$ et on note la température lorsque l'équilibre est réalisé, soit $\theta_e = 20,6°C$.
   En déduire la valeur de la capacité thermique massique de l'éthanol.



état initial

À rédiger pour la semaine 14 - Séance 8

Exercice C4 — Piston et explosion



Considérons un piston de masse négligeable et pouvant se déplacer sans frottement dans un cylindre horizontal. L'air extérieur est à la pression P_0 et T_0. Le compartiment de gauche contient une quantité de matière n de gaz supposé parfait de coefficient isentropique γ. Le gaz occupe initialement un volume V_0.
À l'instant $t = 0$, une explosion a lieu dans le compartiment de gauche apportant instantanément au gaz un transfert thermique Q_e. Le gaz subit alors les transformations suivantes :

$0 \to 1$ Échauffement isochore

$1 \to 2$ Détente adiabatique réversible jusqu'à ce que le piston atteigne l'équilibre mécanique

$2 \to 3$ Refroidissement isobare jusqu'à ce que le gaz atteigne l'équilibre thermique.

1. Justifier sans calcul que les états 0 et 3 sont les mêmes.
2. Représenter la suite de transformation dans un diagramme de Clapeyron.
3. Exprimer la température, le volume et la pression dans les états 1 et 2 en fonction des données de l'énoncé.
4. Exprimer les travaux mécaniques et transferts thermiques lors de ces trois transformations en fonction des données de l'énoncé. Commenter.

Semaine 14 - Séance 8

DEUXIÈME PRINCIPE DES SYSTÈMES FERMÉS

Exercice 14 — Entropie du gaz parfait

1. À partir des identités thermodynamiques, donner l'expression de la différentielle de l'entropie pour un gaz parfait dans les variables (T, V). En déduire l'expression de la fonction $S(T, V)$.
2. Effectuer le même travail dans les variables (T, P).
3. Considérons les transformations de l'exercice 10.
   a. Réaliser un bilan d'entropie pour la compression isotherme lente $T1$ (c'est-à-dire qu'on calculera l'entropie échangée, l'entropie créée, la variation d'entropie du gaz).
   Commenter les signes de chacun des trois termes d'entropie.
   b. On considère maintenant une transformation monotherme rapide de même état initial et de même état final que la transformation précédente. La pression extérieure est constante et vaut P_0. Refaire le bilan d'entropie - calculer l'entropie échangée, l'entropie créée et la variation d'entropie du gaz – pour cette transformation.
   Commenter.

Exercice 15 — Contact avec un thermostat

On plonge un barreau de fer de masse m à la température T_1 dans un lac à la température T_0, et on attend l'équilibre final.
Données numériques : capacité thermique massique du fer : $c = 460$ J.K^{-1}.kg^{-1}
$m = 100$ g; $T_0 = 280$ K; $T_1 = 350$ K.

1. À partir d'une identité thermodynamique, donner l'expression de la différentielle dS de l'entropie pour une phase condensée. En déduire l'expression de la fonction $S(T, V)$.
2. Calculer l'entropie échangée; la variation d'entropie; l'entropie créée :
   a. pour le morceau de fer ; commenter les signes des trois grandeurs ;
   b. pour le thermostat ;
   c. pour l'ensemble {solide, lac} supposé isolé. Interpréter.

En préparation de l'IS

Finir les exercices 14 **et** 15

À rédiger pour la semaine 18 - Séance 9

Exercice C5 — Entropie d'une explosion

On reprend les transformations de l'exercice C4. On supposera que lors de la transformation $0 \to 1$, les gaz brûlés jouent le rôle d'un thermostat à la température T_1.

1. Redémontrer les formules de variation d'entropie ΔS en fonction des variables T et P puis V et P dans le cas d'un gaz parfait.
2. Déterminer les entropies échangées, créées et la variation d'entropie lors des trois transformations. Commenter.
3. Représenter, en justifiant le tracer, le cycle dans le diagramme entropique (T, S).

Semaine 18 - Séance 9

Exercice 16 — Gaz parfait dans un cylindre qui n'est pas calorifugé (étude entropique)

On considère un cylindre fermé à une extrémité et dans lequel peut coulisser verticalement un piston de masse négligeable. À l'intérieur de ce système, n moles d'un gaz parfait de capacités thermiques molaires constantes, occupent un volume V_i. L'ensemble est plongé dans un milieu dont la température T_0 est constante.
Les frottements sont négligeables.
Les parois du cylindre et le piston sont diathermanes (les transferts thermiques sont possibles).

Dans cet exercice, on réalise deux expériences au cours desquelles un opérateur fournit un même transfert mécanique W_0, mais de deux manières différentes :

Expérience ① : L'opérateur exerce une force $\vec{F}_1$ constante.
Expérience ② : L'opérateur enfonce lentement le piston.

Soit V_f le volume à l'équilibre.

I. Pour chaque expérience ① et ② :

1. Caractériser la transformation subie par le gaz.
2. Exprimer le rapport volumétrique $\frac{V_f}{V_i}$ en fonction de n, R, T_0 et W_0.
3. Application numérique : $W_0 = 2nRT_0$.

II. Pour chaque expérience ① et ②, déterminer en fonction de n, R, T_0, $\frac{V_f}{V_i}$ les expressions de :

1. la variation d'entropie du gaz pendant la transformation ;
2. l'entropie échangée par le gaz ;
3. l'entropie créée par le gaz. La transformation est-elle réversible ?

III. Le but de cette manipulation est, avec le même travail W_0, d'enfoncer le plus possible le piston (optimisation du transfert d'énergie). Comparer ① et ②.

CALCUL DIFFÉRENTIEL EN THERMODYNAMIQUE

Exercice 17 — Enthalpie massique d'un système indilatable et incompressible

Dans cet exercice, on considère les liquides comme des systèmes indilatables et incompressibles de capacités thermiques massiques c_P et c_V. On étudie l'influence de la pression et du volume sur l'état thermodynamique d'un liquide.

1. a. Déterminer pour un tel liquide, en fonction de c_P, c_V, P, v, T, les expressions des différentielles de : l'énergie interne massique u, l'entropie massique s, l'enthalpie massique h.
   b. Montrer que $c_P = c_V$.
2. Soient $2,00$ kg d'eau liquide à la température de 300 K et à la pression de $1,00$ MPa.

   Calculer la variation d'enthalpie de l'eau liquide :

   a. lorsqu'on augmente sa température de 30% sous la pression de $1,00$ MPa ;
   b. lorsqu'on augmente sa pression de $30,0\%$ à la température de 300 K. Données numériques : $v = 1,00.10^{-3}$ m^3.kg^{-1}; $c = 4,18$ kJ.kg^{-1}.K^{-1}
   c. En déduire une expression approchée de dh pour les liquides.

En préparation du TP. À rédiger pour la semaine 19 - Séance 10

Exercice C6 — Calorimétrie (non noté)

On dispose d'un calorimètre constitué d'un vase intérieur et d'un agitateur Le tout ayant une capacité calorifique C. Les transferts thermiques sont négligeables entre le vase extérieur et le contenu du calorimètre.

A. Le calorimètre est initialement rempli d'une masse m_1 d'eau de capacité thermique massique c_1 à la température θ_1.

Une résistance est immergée dans l'eau du calorimètre. La capacité thermique de la résistance est considérée négligeable. La résistance est branchée en série avec un générateur et un interrupteur. Initialement le circuit est ouvert et la résistance est à la température θ_1.

Au temps $t = 0$, on ferme le circuit. La tension à ses bornes est U et l'intensité du courant qui la traverse est I.

Montrer que la courbe représentant les variations de la température θ du liquide en fonction du temps est une portion de droite, dont on déterminera le coefficient directeur a_1 en fonction de m_1, c_1, C et P (puissance électrique reçue par la résistance).

En déduire en fonction de m_1, a_1, C, U et I l'expression de c_1,

B. Le calorimètre est initialement rempli d'une masse m_1 d'eau de capacité thermique c_1 à la température θ_1. On y plonge une masse m_2 de cuivre de capacité thermique massique c_2 à la température θ_2.

À l'équilibre, l'eau dans le calorimètre est la température θ_3.

Donner l'expression de c_2 en fonction de m_1, m_2, θ_1, θ_2, θ_3, c_1 et C.

Si l'on plonge une barre en métal chauffée à blanc dans de l'eau à température ambiante. Combien de temps environ doit-on laisser la barre en métal avant de pouvoir la toucher à mains nues ?

Exercice C7 — Calcul d'incertitudes (non noté)

A. Plusieurs binomes mesurent la capacité thermique massique de l'éthanol par une méthode calorimétrique. Ils obtiennent les résultats suivants :

Table 1.1: Mesures expérimentales de la capacité thermique massique de l'éthanol

Binôme	c **(kJ·kg^{-1}·K^{-1})**	**Incertitude (kJ·kg^{-1}·K^{-1})**
1	2,51	0.05
2	2,41	0.03
3	2,40	0.05
4	2,50	0.08
5	2,36	0.05
6	2,46	0.04
7	2,43	0.05
8	2,40	0.05
9	2,48	0.05
10	2,43	0.04
11	2,42	0.05
12	2,50	0.08
13	3,58	0.05
14	2,39	0.05
15	2.35	0.06

La valeur tabulée pour la capacité thermique massique de l'éthanol est $c_{ethanol} = 2{,}44$ kJ.K^{-1}.kg^{-1}

Déterminer $c_{ethanol}$ obtenu à partir des mesures du tableau 1.1 et réaliser l'application numérique. Préciser l'intervalle et le niveau de confiance de ce résultat. Commenter.

B. On souhaite déterminer avec précision la capacité thermique C d'un calorimètre, ainsi que l'incertitude associée à la mesure. Celui-ci est constitué d'un vase intérieur en zinc, dont la masse est $m_z = 300$ g et d'un agitateur en verre de masse $m_v = 50$ g. La précision indiquée sur la balance est de 1g.

Déterminer la capacité thermique C du calorimètre et de ses accessoires et réaliser l'application numérique. Préciser l'intervalle et le niveau de confiance de ce résultat. Commenter.

Données :

Substance	zinc	verre
Capacité massique (kJ.K^{-1}.kg^{-1})	0,38	0,80
Incertitude (kJ.K^{-1}.kg^{-1})	0,01	0,01

Semaine 19 - Séance 10

MACHINES THERMIQUES

Exercice 18 — Machine de Carnot

n moles d'un gaz parfait décrivent un cycle de Carnot A, B, C, D, A en échangeant des transferts thermiques avec deux sources T_1 et T_2.

- Compression isotherme AB au contact de la source T_2.
- Détente adiabatique BC amenant le gaz à la température T_1.
- Détente isotherme CD au contact de la source T_1.
- Compression adiabatique DA amenant le gaz à la température T_2.

Les transformations sont toutes réversibles.

1. Représenter l'allure du cycle dans un diagramme de Clapeyron (P, V) et dans un diagramme entropique (T, S). Ce cycle est-il moteur ou récepteur ?

2. On pose $\alpha = \frac{V_A}{V_B}$.

   Déterminer les expressions, dans cet ordre, et en fonction de n, T_1, T_2 et α du :

   - transfert thermique reçu par le gaz au cours de la transformation $A \to B$;
   - transfert thermique reçu par le gaz au cours de la transformation $C \to D$;
   - travail reçu par le gaz au cours d'un cycle.

3. En supposant qu'il s'agit du cycle d'un réfrigérateur, calculer l'efficacité thermique de cette machine thermique. Cette efficacité dépend-elle de α ?

Exercice 19 Cycle de Lenoir

Le premier moteur à deux temps a fonctionné suivant un cycle de Lenoir :

* $0 \to 1$ (admission) : entrée isobare du mélange air – combustible à la pression atmosphérique. En 1 : étincelle à la bougie ;
* $1 \to 2$ (combustion): combustion isochore du mélange ;
* $2 \to 3$ (temps moteur) : détente adiabatique réversible ;
* $3 \to 1 \to 0$ (échappement) : évacuation isobare des gaz brûlés.

1. On assimile le mélange gazeux à un gaz parfait de coefficient isentropique $\gamma = \frac{c_P}{c_V}$. Représenter l'allure du cycle en coordonnées (P, V).
2. On appelle rapport de compression, la quantité $\tau = \frac{P_2}{P_1}$. Exprimer en fonction de τ et γ le rendement thermodynamique ρ du cycle.
3. Ce cycle ditherme est-il réversible ? Commentaires.

Semaine 21 - Séance 11

Contrôle 3 : Chapitre 4

Exercice 20 Pompe à chaleur (1)

Une pompe à chaleur réversible fonctionne entre deux sources thermiques constituées par l'eau d'un lac à température constante $\theta_0 = 10°\text{C}$ et par une masse M d'eau thermiquement isolée (sauf de la pompe), initialement à la température T_i. La machine fonctionne de telle sorte que la masse M s'échauffe jusqu'à une température T_f. On notera c la capacité thermique massique de l'eau.

1. Pendant la durée dt d'un cycle, la machine reçoit (algébriquement) le travail élémentaire δW de l'extérieur et le transfert thermique élémentaire δQ de la masse M d'eau. Pendant ce temps, la température T de la masse M varie de dT. Trouver une relation entre δW et dT.
2. Calculer W en fonction de T_i, T_f et de T_0, la température du lac.
   A.N. : $M = 1$ t, $T_i = T_0$; $T_f = 313$ K
3. Calculer l'élévation de température de la masse M si le même travail W avait été utilisé par une résistance chauffante.

À rédiger pour la semaine 22 - Séance 12

Exercice C8 Moteur de scooter

Nous considérerons un piston de moteur de scooter se déplaçant entre deux positions extrêmes délimitant des volumes v et $V > v$. L'air est supposé se comporter comme un gaz parfait de coefficient $\gamma = 1,4$.
Le moteur considéré fonctionne en deux temps :

* 1^e temps : compression adiabatique réversible $A \to B$ puis combustion isochore $B \to C$
* 2^{nd} temps : détente adiabatique réversible $C \to D$ puis échappement des gaz et admission simultanée d'un nouveau mélange $D \to A$, la transformation étant supposée isochore.

Les propriétés thermodynamiques des étapes sont décrites dans le tableau ci-dessous :

Étape	A	B	C	D
P (bar)	1	6	25,9	4,3
V (cm^3)	68,5	19	19	68,5
T (K)	300	499	2156	1293

1. Représenter le cycle dans un diagramme de Clapeyron.
2. Exprimer la quantité de matière n d'air impliqué dans un cycle. Réaliser l'application numérique.
3. Donner les expressions du travail mécanique lors de chaque étape du cycle puis total lors du cycle. Réaliser l'application numérique.
4. En déduire la puissance du moteur à vitesse maximale. Commenter.
5. Déterminer le rayon du cylindre.
6. Déterminer la quantité de CO_2 émise par le moteur pour une utilisation d'une heure à vitesse maximale. Commenter.

Pensez à tourner la page pour consulter la fiche technique de ce moteur.

Fiche technique :

- Vitesse maximale $V_s = 45\text{km.h}^{-1}$à 7000 tours.min^{-1}
- Puissance maximale $\mathcal{P}_m = 4,40$ kW à la vitesse maximale
- Cylindrée $C = V - v = 49,5$ cm^3
- Course du piston $d = 39,2$ mm
- Pouvoir énergétique du carburant : $PCS = 30$ kJ.cm^{-3}
- Consommation aux 100km à la vitesse maximale : $Conso = 3,1$L
- Rendement énergétique : $\eta = 38\%$
- Taux de compression $a = \frac{V}{v} = 3,6$
- La consommation d'un litre d'essence produit environ $2,3$kg de CO_2.

Semaine 22 - Séance 12

Exercice 21 Pompe à chaleur (2)

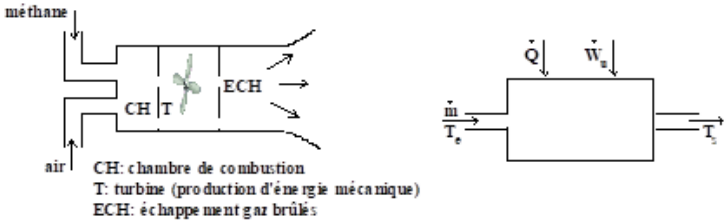
Le chauffage d'une maison individuelle est assuré par une pompe à chaleur dont les n moles de fluide décrivent un cycle de Carnot.
L'intérieur de la maison constitue la source chaude ($\theta_c = 20°$C), le milieu extérieur constitue la source froide ($\theta_f = 0°$C).
La puissance de chauffe que fournit l'installation à l'intérieur de la maison est de 10 kW.

1. Écrire le bilan énergétique et le bilan entropique pour un cycle de cette machine.
2. Calculer la puissance mécanique absorbée pour un cycle.
3. Calculer par deux méthodes l'efficacité thermique de la pompe à chaleur.

SYSTÈMES OUVERTS EN ÉCOULEMENT PERMANENT

Exercice 22 Turbine à gaz

Une turbine à gaz est une machine qui produit de l'énergie mécanique à partir de l'énergie thermique libérée par la combustion d'un gaz (méthane).



Données numériques : Débit massique total : $\dot{m} = 0,560$ kg.s^{-1}
Gaz entrant (air et méthane) : $T_e = 300$ K
Puissance thermique reçue par le gaz dans la chambre de combustion : $P_{th} = 800$ kW
Gaz sortant (produits de combustion) : $T_s = 10^3$ K
Hypothèses :

* les gaz en écoulement sont assimilés à de l'air (gaz parfait de $c_P = 1,00.10^3$ J.K^{-1}.kg^{-1}) ;
* les variations d'énergie cinétique et d'énergie potentielle des gaz sont négligeables.

1. Calculer la puissance utile de la turbine.
2. Calculer son rendement thermodynamique.

À rédiger pour la semaine 23 - Séance 13

Exercice C9 — Centrale nucléaire

Dans une centrale nucléaire, l'énergie thermique dégagée par la fission des atomes (source chaude à la température $T_{ch} = 700\text{K}$) sert à chauffer de l'eau entrainant une turbine (travail mécanique) qui entrainera un alternateur. La source froide est un fleuve à la température $T_{fr} = 298\text{K}$ et de débit volumique $q_V = 500\ \text{m}^3.\text{s}^{-1}$.
On supposera que le rendement de l'alternateur est de 1, la puissance fournie par la centrale est de 1000MW et le rendement de l'installation est à 60% du rendement de Carnot.
La température maximale autorisée de l'eau en sortie de la centrale est de 30°C.

1. Redémontrer la formule du rendement de Carnot dans le cas d'un moteur. En déduire la valeur numérique du transfert thermique Q_{ch} de la source chaude sur une durée de fonctionnement de 1s de la centrale nucléaire.
2. Donner la valeur numérique du transfert thermique Q_{fr} de la source source sur une durée de fonctionnement de 1s de la centrale nucléaire.
3. En déduire la température T_s de l'eau en sortie de la centrale.
4. En pratique, la centrale ne capte pas toute l'eau du fleuve, quelle proportion f d'eau du fleuve la centrale doit-elle capter pour respecter la législation ? Commenter.

En préparation du DS (non noté)

Exercice C10 — Accélération d'un gaz dans une tuyère

De l'air comprimé se détend dans une tuyère. Les données et hypothèses sont les suivantes :

- La tuyère est parfaitement calorifugée.
- L'air est assimilé à un gaz parfait, de capacité thermique massique à pression constante $c_P = 1,00\ \text{kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$et de masse molaire $M = 28,8\ \text{g.mol}^{-1}$;
- À l'entrée de la tuyère, sa vitesse est négligeable et l'air est dans un état A: $T_A = 600\ \text{K}$ et $P_A = 5,00\ \text{bar}$.
- À la sortie de la tuyère, sa pression est $P_B = 1,00\ \text{bar}$. La section de sortie de la tuyère est $\Sigma = 1,00\ \text{cm}^2$.

1. La détente est isentropique. Déterminer :
   a. la température de sortie T_B de l'air ;
   b. la vitesse de sortie $||\vec{v}_b||$ de l'air ;
   c. le débit massique d'air.
2. On modélise l'irréversibilité de la détente par une transformation polytropique de coefficient $k = 1,36$.
   Cela signifie que la pression et le volume massique du gaz sont reliés par la relation : $P.v^k = constante$.
   a. Déterminer à nouveau la vitesse et le débit d'air.
   b. Représenter ces deux détentes dans un diagramme entropique (on assimilera les transformations à des segments).
   c. Déterminer l'énergie dissipée ε à la traversée de la tuyère.

   Au cours d'une transformation de l'état initial (i) à l'état final (f), l'énergie dissipée ε vaut $\varepsilon = \int_i^f T\delta s^c$.

Exercice C11 — Échangeur de chaleur

De l'air chaud ($c_P = 1\ \text{kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$) à l'état 1 ($P_1 = 6$ bar, $T_1 = 500$ K) est refroidi de façon isobare jusqu'à la température T_0 de 300 K, dans un échangeur parfaitement calorifugé.
Le fluide réfrigérant est constitué par de l'eau qui entre à $\theta_e = 12°\text{C}$ et qui sort à la température θ_s. Le débit de l'eau est 100 g.s^{-1}et celui de l'air 6,5 g.s^{-1}.
Calculer θ_s.

