

Évolution d'un système thermodynamique

QUESTIONS DE COURS

- ↪ Définir les transformations suivantes : une transformation isochore, une transformation quasi-statique, une transformation isotherme, une transformation isobare, une transformation monobare, une transformation monotherme, une transformation adiabatique.
- ↪ Donner l'expression générale du travail des forces extérieures de pression. Quel est son signe pour une compression monobare ? pour une détente monobare ? Que devient cette expression dans le cas d'une transformation mécaniquement réversible ?
- ↪ Quelle interprétation graphique peut-on faire du travail des forces extérieures de pression pour une transformation mécaniquement réversible (aire algébrique sous la courbe) ? Représenter une transformation isochore, une transformation isobare et une transformation isotherme d'un gaz parfait dans un diagramme (P, V) .
- ↪ Dans quel sens doit être parcouru un cycle dans le diagramme (P, V) pour qu'il soit moteur ? récepteur ? Que représente l'aire du cycle ? Application : calculer W_{cycle} pour un cycle constitué de deux isobares et deux isochores.
- ↪ Énoncer le premier principe de la thermodynamique dans le cas usuel d'un système fermé macroscopiquement au repos à l'état final et initial.
- ↪ Pour un GP soumis uniquement à des forces de pression, calculer le transfert thermique Q pour une transformation isochore, pour une transformation isotherme mécaniquement réversible, pour une transformation isobare mécaniquement réversible.
- ↪ Définir l'enthalpie H . Exprimer H pour un gaz parfait monoatomique. Que peut-on dire de l'enthalpie d'un GP et d'une phase condensée idéale ? Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique à EI et EF.
- ↪ Définir la capacité thermique à pression constante C_p d'un système obéissant à la 2^{ème} loi de Joule. Citer deux systèmes obéissant à la deuxième loi de Joule. En considérant que C_p est indépendant de T , quelle est l'expression de ΔH en fonction de ΔT ?
- ↪ Démontrer la relation de Mayer pour un gaz parfait. En déduire la valeur de C_p pour un GPM. Établir l'expression de C_v et C_p pour un GP en fonction de γ coefficient à définir (résultat à connaître). Quelle est la valeur de γ pour l'air ?
- ↪ Comparer les capacités thermiques à volume constant et à pression constante dans le cas des phases condensées incompressibles et indilatables. Donner l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide dans les conditions standard.

SAVOIR-FAIRE

Savoir-faire 1 - Calculer un travail de forces pressantes

Calculer le travail des forces pressantes pour :

- ▷ une transformation isochore,
- ▷ une transformation monobare,
- ▷ pour une transformation mécaniquement réversible isotherme pour un gaz parfait,
- ▷ pour une transformation mécaniquement réversible vérifiant $PV^\gamma = cste$ pour un gaz parfait

Savoir-faire 2 - Utiliser un diagramme de Clapeyron

Tracer le chemin parcouru dans le diagramme de Clapeyron pour les transformations précédentes en supposant qu'elles sont également quasi-statiques.

Savoir-faire 3 - Calculer un transfert thermique

Calculer le transfert thermique pour :

- 1/ une transformation isochore d'une phase condensée idéale de capacité thermique C de T_1 vers T_2 ;
- 2/ une transformation isotherme quasi-statique d'un gaz parfait de V_1 à V_2 ;
- 3/ une transformation isobare pour un gaz parfait de T_1 vers T_2 .

Savoir-faire 4 - Effectuer un bilan énergétique en calorimétrie

Dans un calorimètre dont la valeur en eau vaut $\mu = 41$ g, on verse 100 g d'eau. Une fois l'équilibre thermique atteint, la température mesurée est de 20°C . On plonge alors un barreau métallique de cuivre de masse 200 g à une température initiale de 60°C . À l'équilibre final, la température est de 30°C .

Déterminer la capacité thermique massique du métal.

On supposera que toutes les capacités thermiques sont constantes dans le domaine de température considéré.

L'INCONTOURNABLE

Exercice à maîtriser pour pouvoir appréhender sereinement un sujet de thermodynamique.

Exercice 1 : Comparaison entre deux transformations

On considère un système composé d'une quantité de matière n de gaz parfait diatomique enfermée dans une enceinte. Cette enceinte est fermée par un piston de surface S et dont on négligera la masse, pouvant coulisser sans frottement. L'ensemble est situé dans l'atmosphère, dont on note T_0 et P_0 la température et la pression. On note I l'état initial. L'objectif est de comparer deux transformations du système : l'une brutale et l'autre lente.

Commençons par la transformation brutale : on lâche brusquement une masse M sur le piston, qui se stabilise en un état intermédiaire 1, qu'on supposera pour l'instant état d'équilibre.

- 1/ Le meilleur modèle pour la transformation est-il isotherme ou adiabatique ? Peut-on en déduire un résultat sur la température T_1 ?
- 2/ Déterminer la pression P_1 .
- 3/ Établir le bilan énergétique de la transformation en explicitant chacun des termes.
- 4/ En déduire les caractéristiques T_1 et V_1 de l'état 1.

On observe qu'en fait l'état 1 n'est pas un réel état d'équilibre : le piston continue de bouger, mais beaucoup plus lentement, jusqu'à atteindre l'état 2 qui est l'état final.

- 5/ Quel phénomène, négligé précédemment, est responsable de cette nouvelle transformation du système ?
- 6/ Déterminer les caractéristiques T_2 , P_2 , V_2 de l'état 2.
- 7/ Déterminer le travail reçu par le système, puis sa variation d'énergie interne et en déduire le transfert thermique reçu au cours de la transformation $1 \rightarrow 2$. En déduire le travail total et le transfert thermique total reçus au cours de la transformation brusque.

Comparons maintenant à une transformation lente : la même masse M est lâchée très progressivement sur le piston, par exemple en ajoutant du sable « grain à grain ».

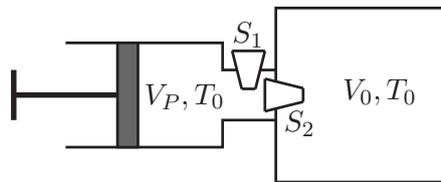
- 8/ Comment qualifie-t-on une telle transformation ? Que peut-on en déduire sur la température du système au cours de la transformation ?
- 9/ Déterminer la pression dans l'état final et en déduire le volume. Commenter.
- 10/ Établir le bilan énergétique de la transformation en explicitant chaque terme. Comparer à la transformation brutale. Commenter.

POUR S'ENTRAÎNER

On prend l'incontournable et on l'étoffe.

Exercice 2 : Pompe à vélo, bis

Un récipient de volume V_0 est initialement rempli d'air à la pression p_0 et à la température T_0 , égales à la pression et à la température du milieu extérieur. On désire augmenter la pression à l'intérieur du récipient à l'aide d'une pompe. : lorsque l'on tire sur le piston, la soupape S_1 s'ouvre, permettant le remplissage du corps de la pompe par de l'air à la pression p_0 . Lorsque l'on pousse sur le piston, la soupape S_1 est fermée, et la soupape S_2 s'ouvre dès que la pression à l'intérieur de la pompe est supérieure à la pression dans le récipient.



L'air est considéré comme un gaz parfait, subissant des transformations quasi stationnaires et isothermes. On note $\alpha = \frac{V_P}{V_0}$.

- 1/ Qualifier le système défini par les parois du récipient à remplir (isolé, fermé ou ouvert).
- 2/ Déterminer la pression p_1 après une phase de gonflage (un aller retour du piston), puis la pression p_i après la i -ième phase de gonflage.
- 3/ On s'intéresse à la première phase de gonflage. Que peut-on dire de l'état de la soupape S_2 ? En considérant un système fermé que l'on précisera, déterminer le travail W_1 que l'on doit fournir pour amener la pression dans le récipient de p_0 à p_1 . On exprimera W_1 en fonction de p_0 .
- 4/ On s'intéresse à la i -ième phase de gonflage, qui amène la pression dans le récipient de p_{i-1} à p_i . En décomposant cette phase en deux étapes en fonction de l'état (ouvert ou fermé) de la soupape S_2 , exprimer le travail W_i reçu par l'air en fonction de p_0 , V_0 , i et α .

Exercice 3 : La thermodynamique de la tisane

En cette fin d'année stressante, vous n'arrivez pas à dormir et vous vous préparez une fameuse tisane « Nuit Calme ». Vous remplissez donc votre bouilloire avec 500 mL d'eau et lancez le chauffage.

- 1/ On considère que l'eau dans la bouilloire immerge une résistance $R = 220 \Omega$ parcourue par une intensité $I = 10$ A. En combien de temps la tisane sera-t-elle prête ?
- 2/ Vous êtes très pressé d'aller dormir, mais les 200 mL d'eau de votre tisane sont à 95°C et il est donc très difficile de boire. L'idéal serait que l'eau soit à 70°C . Vous pensez donc à ajouter de l'eau du robinet à $T_{rob} = 6^\circ \text{C}$ afin de rafraîchir la tisane. Quel volume d'eau devez-vous ajouter dans la tasse pour que vous puissiez boire rapidement votre tisane et aller vous coucher ?
On supposera que votre tasse est une Bodum aux parois isolantes Double Wall

Exercice 4 : Un café parfait

Un amateur de café aime boire son café à 50°C . Malheureusement, le sucre qu'il y ajoute risque de le refroidir car il est à température ambiante (20°C).

Il envisage trois méthodes pour obtenir une température finale de son café de 50°C pile :

- Prendre un café à 50°C et faire tomber le sucre d'assez haut pour que la température finale reste égale à 50°C .
- Prendre un café à 50°C et lancer le sucre avec une vitesse suffisante pour que la température finale reste égale à 50°C .
- Prendre un café à une température supérieure afin que l'action du sucre baisse la température à 50°C .

On donne :

- la masse d'un sucre $m = 5$ g
- la capacité thermique massique du sucre : $c_s = 500 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
- La capacité thermique du système eau+café : $C = 100 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

On supposera qu'aucun transfert thermique n'a lieu.

Quelle est la meilleure méthode ?

POUR ALLER PLUS LOIN

Exercice pas nécessairement plus difficiles mais moins classique.

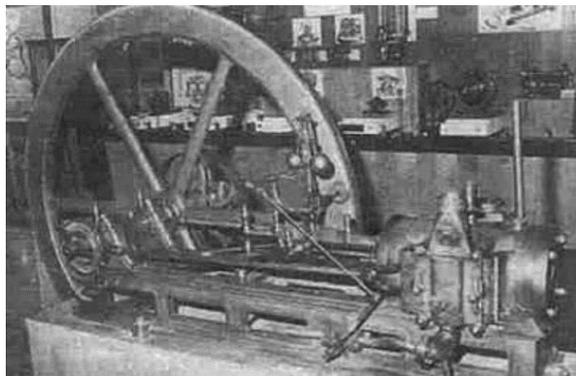
Exercice 5 : Caractériser une transformation

Pour chaque transformation décrite, proposer le modèle le plus adapté. (*On pourra découper la transformation en différentes étapes et proposer un modèle pour chacune*)

- ▷ **Expérience 1** : de la vapeur d'eau est contenue dans un cylindre calorifugé et fermé par un piston mobile. Initialement, elle se trouve dans un état d'équilibre de paramètres d'état ($P_I = 1,00$ bar, $T_I = 400$ K, $V_I = 1,8$ L). On déstabilise le système en poussant brutalement le piston qui se met à exercer instantanément sur le gaz une pression extérieure $P_{ext} = 5,00$ bar.
- ▷ **Expérience 2** : de la vapeur d'eau est contenue dans un cylindre non calorifugé, en contact avec un thermostat de température $T_C = 500$ K et fermé par un piston mobile. Initialement, elle se trouve dans un état d'équilibre de paramètres d'état ($P_I = 1,00$ bar, $T_I = 500$ K, $V_I = 2,3$ L). On déstabilise le système en poussant brutalement le piston qui se met à exercer instantanément sur le gaz une pression extérieure $P_{ext} = 5,00$ bar. Le système se trouve d'abord dans un état d'équilibre mécanique, mais on constate une évolution ensuite lente de la hauteur du piston, jusqu'à arriver à un état final.
- ▷ **Expérience 3** : de la vapeur d'eau est contenue dans un cylindre non calorifugé, en contact avec un thermostat de température $T_C = 500$ K et fermé par un piston mobile. Initialement, elle se trouve dans un état d'équilibre de paramètres d'état ($P_I = 1,00$ bar, $T_I = 500$ K, $V_I = 2,3$ L). On déstabilise le système en ajoutant très progressivement du sable sur le piston. On s'arrête lorsque le piston exerce sur la vapeur d'eau une pression extérieure $P_{ext} = 5,00$ bar.

DEVOIR-MAISON : CYCLE DE LENOIR

Cet exercice est un premier pas vers le travail du devoir surveillé. N'hésitez pas à rendre un travail incomplet pour que je vous fasse des retours sur vos productions.



Le cycle de Lenoir est un modèle idéalisé de cycle moteur à deux temps, introduit par Lenoir en 1860 pour décrire le fonctionnement du moteur à gaz qu'il avait mis au point l'année précédente. On raisonne sur l'air présent dans la chambre de combustion du moteur, modélisé par un gaz parfait. Après une phase d'admission d'air dans la chambre de combustion et le processus d'inflammation, l'air dans la chambre est caractérisé par $T_1 = 100^\circ\text{C}$, $V_1 = 10$ L et $P_1 = 2 \cdot 10^5$ Pa. À partir de cet état 1, l'air constitue un système fermé de quantité de matière n_0 . Le cycle qu'il subit se compose des étapes suivantes :

- 1 \rightarrow 2 : explosion isochore jusqu'à la pression P_2
- 2 \rightarrow 3 : détente isotherme jusqu'à un volume $V_3 = 2V_1$
- 3 \rightarrow 1 : compression isobare jusqu'à revenir au volume initial

Les gaz brûlés sont ensuite évacués hors de la chambre de combustion, et un nouveau cycle démarre.

- 1/ On cherche à représenter le cycle dans le diagramme de Watt (P, V). Pour pouvoir définir les grandeurs d'état tout au long de la transformation, on raisonne sur des transformations quasi-statiques.
 - (a) Déterminer l'équation d'une isotherme quasi-statique d'un gaz parfait dans le diagramme de Watt.
 - (b) En déduire la représentation du cycle.
- 2/ Déterminer la température $T_2 = T_3$ à laquelle a lieu la détente. En déduire la pression maximale atteinte P_2 .
- 3/ Calculer le travail total fourni par le moteur au cours du cycle.
- 4/ Justifier sans calcul qu'entre le début et la fin du cycle $\Delta U = 0$. En déduire le transfert thermique reçu par le système. Quelle est la source de ce transfert ?