# Travaux dirigés de Thermodynamique 4 :
## Premier principe de la thermodynamique

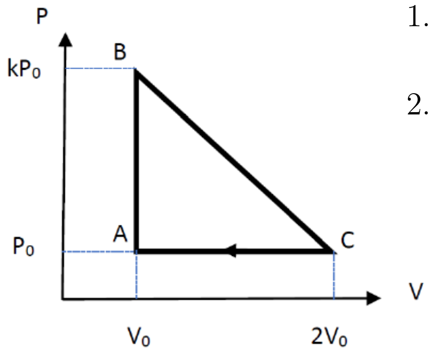
École Centrale Pékin

2019-2020

## S'entraîner

### Exercice 1 : Transfert thermique

Un gaz parfait, d'exposant adiabatique $\gamma = \dfrac{C_p}{C_v}$ parcourt (de manière quasi-statique) le cycle de transformations $A \to B \to C \to A$




1. À partir du dessin, déterminer si le cycle est moteur ou récepteur.
2. On veut calculer $Q_{B \to C}$ la quantité de chaleur que reçoit (algébriquement) le système pendant l'évolution $B \to C$
   a) Appliquer le premier principe de la thermodynamique sur l'ensemble du cycle.
   b) Calculer les travaux à chaque étape du cycle, et les chaleurs échangées $Q_{A \to B}$ et $Q_{C \to A}$
   c) En déduire $Q_{B \to C}$ en fonction de $k$ et $\gamma$.

3 Quelle est la condition sur $k$ pour que la transformation $B \to C$ soit "globalement adiabatique" (c'est-à-dire que $Q_{B \to C} = 0$) ?

4 Pour la valeur de $k$ trouvée à la question précédente, comment interpréter la forme de la courbe $B \to C$ ? Faire le lien avec la forme d'une transformation adiabatique.

### Exercice 2 : Transfert thermique entre deux systèmes à volume totale constant

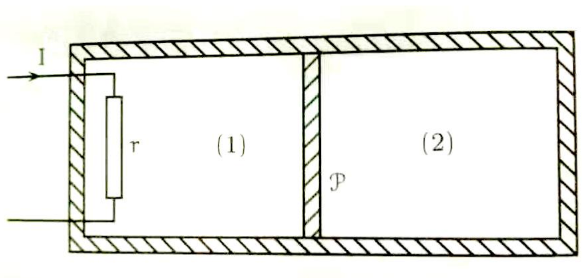



FIGURE 1 – Le piston qui sépare les deux compartiments peut être calorifugé ou au contraire autoriser les échanges de chaleur (diathermes).

On étudie un gaz parfait dans le dispositif de la figure 1. Le système est constitué de parois calorifugées. Chacun des deux compartiments comporte une mole de gaz parfait d'exposant adiabatique $\gamma$.

Selon les transformations, le piston $\mathcal{P}$ peut :

- se déplacer librement ou alors être bloqué à une certaine position.
- être calorifugé ou diatherme (=laisse passer la chaleur).

L'état initial est noté $A$, tel que $V_1 = V_2 = V_A$, $T_1 = T_2 = T_A$ et $P_1 = P_2 = P_A$ où $P_A$ est la pression atmosphérique.

1. **Première évolution**

   Le piston est calorifugé et libre de se déplacer. Un courant d'intensité $I$ constante parcourt la résistance pendant un temps $\tau$. Le nouvel état d'équilibre atteint est noté $B$. On cherche les variables d'état pour les deux compartiments dans l'état B.

   a) Déterminer l'énergie interne initiale du système gazeux total (les deux moles de gaz).
   b) Déterminer $q$, le rapport de l'énergie apportée par la résistance divisée par l'énergie interne initiale totale.
   c) Dénombrer les inconnues du problème. Écrire les deux relations simples entre d'une part $P_{1B}$ et $P_{2B}$ et d'autre part $V_{1B}$ et $V_{2B}$.
   d) On suppose que la puissance fournie par la résistance est suffisamment faible pour que l'évolution considérée soit quasi-statique. Écrire alors une relation supplémentaire dans le compartiment 2.
   e) Écrire la loi des gaz parfaits dans les deux compartiments. Combien a-t-on d'équations ? Quelle relation n'a t-on pas utilisé ?
   f) Écrire alors la dernière relation et montrer que :

   $$T_{1B} + T_{2B} = 2T_A(q + 1)$$

   g) Résoudre le problème en déterminant $P_{1B}$, $P_{2B}$ en fonction des données et des valeurs des variables d'état en A.
   Note : On pourrait déterminer également $V_{1B}$, $V_{2B}$, $T_{1B}$ et $T_{2B}$.

2. **Équilibre thermique**

   À partir de l'état précédent, on bloque le piston et on rend possible les échanges thermiques entre les deux compartiments. On laisse alors évoluer le système vers un état $C$.

   Comme dans la résolution de la question précédente, on cherche à calculer $P$, $V$, et $T$ dans l'état $C$ pour les compartiments 1 et 2, en fonctions des valeurs en B (déterminées précédemment).

   a) Quel est le type de la transformation $B \to C$ pour chacun des compartiment ?
   b) Combien a t-on d'inconnues ? Le type de transformation nous permet d'écrire directement trois relations, lesquelles ?
   c) Appliquer le premier principe de la thermodynamique à un système bien choisi. Trouver alors la relation entre $T_A$ et $T_{1C}$ et $T_{2C}$.
   d) Combien d'équations manquent-ils ? Déterminer les deux relations manquantes et exprimer $P_{1C}$ et $P_{2C}$ en fonction des valeurs en A.

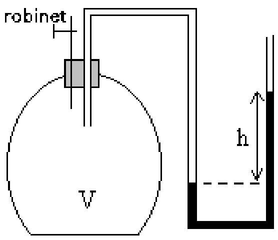
3. **Déblocage du piston**

   On laisse les échanges de chaleur possible entre les deux compartiments. On débloque maintenant le piston et on laisse le système évoluer vers l'état d'équilibre D.

   a) our le compartiment (1) ou le copartiment (2), peut-on qualifier la transformation $C \to D$ ? Est-elle isochore ? Isobare ? Adiabatique ?
   b) En adoptant la même démarche que dans les deux questions précédentes, déterminer les six équations permettant de déterminer l'état d'équilibre D. Déterminer $T_D$ en fonction de $T_A$.
4. Vérifier l'expression de la température finale en considérant directement l'évolution de l'état $A$ vers l'état $D$.

## Exercice 3 : Expérience de Clément et Desormes

Cette expérience permet de mesurer directement la valeur de l'exposant adiabatique $\gamma$ d'un gaz. Le dispositif est présenté sur la figure ci-dessous. On néglige le volume du tube par rapport au volume $V$. La cuve contenant le gaz a des parois permettant les échanges thermiques. On notera la température de l'atmosphère extérieur $T_0$ et sa pression $P_0$.




- Initialement, le ballon est en légère surpression ($\Delta P_{\text{init}} \ll P_0$) par rapport à la pression atmosphérique, $P = P_0 + \Delta P_{\text{init}}$ et la hauteur vaut $h = h_0 + \Delta h_{\text{init}}$.
- Transformation 1 : On ouvre le robinet. $\Delta h$ devient quasi-instantanément nul.
- Transformation 2 : On referme alors le robinet. $\Delta h$ augmente alors lentement jusqu'à la valeur $\Delta h_{\text{fin}}$.

La transformation 1 dure très peu de temps, de sorte que les échanges thermiques avec l'extérieur n'ont pas le temps de se faire.

1. On veut étudier un système fermé qui reste dans le ballon pendant les deux transformations. Quel système faut-il choisir ? Dessiner le système étudié avant la transformation 1, et après la transformation 1.
2. Qualifier très simplement (isobare, isochore, isotherme, adiabatique,...) les deux transformations subies par le gaz dans le ballon.
3. La température dans le ballon diminue-t-elle lors de la première transformation ? Quelle est la température à la fin de la seconde transformation ? Répondre qualitativement.
4. On suppose le gaz comme étant parfait. On rappelle que $\Delta P_{\text{init}} \ll P_0$ de sorte que $\Delta T_1 \ll T_0$ lors des évolutions considérées. Trouver une relation linéaire entre $\Delta P_{\text{init}}$ et $\Delta T_1$, variation de température lors de la première transformation, en fonction de $P_0$, $T_0$, et $\gamma$. On prendra $\Delta T_1$ positif.
5. En étudiant la seconde transformation, trouver une nouvelle relation linéaire entre $\Delta T_1$ et $\Delta P_{fin} = P_{final} - P_0$.
6. En déduire $\gamma$ en fonction de $\Delta P_{\text{init}}$ et $\Delta P_{fin}$.
7. En étudiant le manomètre (appareil servant à mesurer la pression d'un gaz), trouver alors la relation entre $\gamma$ et la différence de hauteur entre le début et la fin de l'expérience.