

## Mesures du coefficient adiabatique $\gamma$ de l'air

### Introduction :

$\gamma$  est le rapport des capacités calorifiques massiques d'un gaz :

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

Le gaz étudié est l'air. La mesure de la chaleur massique à pression constante ( $c_p$ ) est accessible expérimentalement à l'aide de mesures calorimétriques mais celle de la chaleur massique à volume constant ( $c_v$ ) est plus délicate, d'où l'intérêt de connaître le rapport  $\gamma$ .

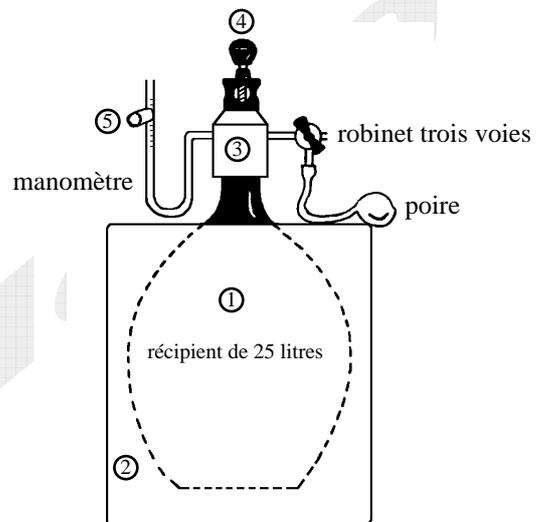
### A - Mesure de $\gamma$ par la méthode de Clément et Désormes :

#### 1°) Description de l'appareil utilisé :

L'appareil comprend un récipient en verre de 25 L ①, isolé de l'extérieur et protégé par une enveloppe en polystyrène expansé ②.

Le goulot du récipient ③ présente trois sorties :

- une soupape à large ouverture permettant de mettre en communication l'air du ballon avec l'air extérieur à l'aide d'une goupille bloquant le levier ④ .
- un manomètre à air libre gradué en demi-millimètres et contenant un liquide coloré. Il est muni d'un oculaire coulissant ⑤ afin de faciliter la lecture des dénivellations.
- un robinet à trois voies pour mettre en communication le récipient avec la poire en caoutchouc ou avec l'extérieur.



#### 2°) Manipulation :

##### a) Principe de la mesure :

On raisonne sur l'air restant après l'expérience dans le récipient ( $n$  moles).

Un gaz parfait, initialement dans l'état 1, est comprimé dans un récipient, à la température  $T$ , ( $T$  : température ambiante) ; il est, alors, dans l'état 2.

On provoque une fuite très brève, ce qui revient à faire subir une détente adiabatique aux  $n$  moles restant dans le récipient (état 3).

Puis on attend le nouvel équilibre thermique avec l'extérieur (transformation isochore de ces  $n$  moles) pour que la température finale reprenne la valeur  $T$  (état 4).

La mesure des pressions dans l'état 2 et dans l'état 4 permet d'accéder à la valeur de  $\gamma$ .

##### b) Mode opératoire :

L'appareil est en place dans le laboratoire depuis la veille, la température doit rester constante pendant la durée de l'expérience. L'air contenu dans le ballon doit être sec, un produit déshydratant ( $\text{CaCl}_2$ ) a été placé dans le récipient.

Cet air se trouve à la température  $T_1$  et à la pression atmosphérique (état initial : **état 1** du système thermodynamique choisi).

### □ *Première étape : Compression*

- retirer la goupille qui maintenait la soupape ouverte ;
- positionner le robinet pour mettre en communication le récipient et la poire ;
- comprimer plusieurs fois la poire (attention au niveau du liquide dans la manomètre !)
- tourner le robinet pour isoler l'air du récipient de la poire ;
- attendre quelques minutes pour que **l'air intérieur soit à nouveau à la température T** ; la pression est alors stabilisée;
- lire la dénivellation  $h$  ( le système est dans **l'état 2** ).

### □ *Deuxième étape : Détente adiabatique*

- appuyer sur le levier et le relâcher aussitôt. L'équilibre mécanique s'établit très rapidement, avant tout échange thermique entre l'intérieur et l'extérieur ( le système est dans **l'état 3** ) ; la transformation de l'air intérieur est également quasi-statique compte tenu de la faible surpression : la transformation peut être considérée comme adiabatique réversible.

### □ *Troisième étape : Transformation isochore*

- attendre plusieurs minutes pour que l'air du récipient revienne à la température  $T$  ( **état 4** du système). Cet échauffement isochore de l'air intérieur se traduit par une surpression ; lire la dénivellation  $h'$  lorsque celle-ci est stabilisée.

Refaire plusieurs manipulations (5 ou 6) et noter les résultats dans un tableau. Entre chaque manipulation maintenir la soupape ouverte en l'immobilisant avec la goupille pour éviter la déformation du joint d'étanchéité.

### 3°) **Exploitation des résultats :**

- Montrer que le rapport  $\gamma$  des chaleurs massiques d'un gaz parfait est égal au rapport des pentes de l'adiabatique et de l'isotherme en **un** point du diagramme (P,V). Reprendre le cours.
- Le système étudié est l'air **restant à la fin de l'expérience** dans le ballon ( $n$  moles). Expliciter les états de **ce système** au cours de l'expérience de Clément et Désormes en complétant ce qui est proposé en annexe. Représenter les transformations  $1 \rightarrow 2$ ,  $2 \rightarrow 3$  et  $3 \rightarrow 4$  dans le diagramme de Clapeyron.
- Les états 1, 2 et 4 du système sont sur une même isotherme. Les états 2 et 3 du système sont sur une même adiabatique. Utiliser le résultat du a) pour en déduire que  $\gamma$  s'écrit : .

$$\gamma = \frac{h}{h - h'}$$

*Aide* : Les courbes représentant les transformations  $1 \rightarrow 2$  et  $2 \rightarrow 3$  seront considérées comme des portions de droites.

- Calculer, à l'aide des dénivellations, la mesure de  $\gamma$  pour l'air (faire la moyenne arithmétique des résultats obtenus).
- Comparer le résultat obtenu ( $\gamma_{\text{moy}}$ ) avec la valeur donnée par les tables.  $\gamma = 1,407$  (air à  $20^\circ\text{C}$ ).

### **B - Détermination de $\gamma$ par la mesure de la vitesse du son :**

#### 1°) **Rappels :**

La célérité du son dans les gaz est donnée par la loi de Laplace :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$$

$c$  : célérité du son ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

$\gamma$  : coefficient de compression adiabatique

$p$  : pression absolue du gaz (Pa)

$\rho$  : masse volumique du milieu ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

Si on admet que le gaz se comporte comme un gaz parfait, montrer que la relation ci-dessus s'écrit :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}$$

## 2°) Mesure de la vitesse de propagation du son dans l'air :

On utilise un émetteur (E) et un récepteur à ultrasons \* (R) (fréquence  $f = 40 \text{ kHz}$ ).

\* *Remarque* : Les sons audibles ont la même vitesse que les ultrasons.

On relie (E) et (R) à un oscilloscope et on visualise les deux signaux : le signal émis et le signal reçu.

Placer (E) et (R) dans une position telle que les deux signaux soient **en phase**. L'émetteur et le récepteur sont alors séparés par une distance  $D$  proportionnelle à la longueur d'onde.

Éloigner (R) de l'émetteur (E) d'une distance  $d$  égale à un nombre entier ( $k$ ) de longueurs d'onde telle que l'on ait, à nouveau, les signaux **en phase**. Compter le nombre  $k$  en suivant bien ce qu'il se passe sur l'écran. Mesurer soigneusement  $d$ . On prendra  $k$  assez grand (4, 5 ou 6).

En déduire la valeur de la longueur d'onde puis la vitesse  $c$  des ultrasons \* dans l'air.

La vitesse du son dans l'air dépend fortement de la pression, de la température et de la masse volumique (humidité, par exemple).

Dans l'air sec, entre  $-20^\circ\text{C}$  et  $40^\circ\text{C}$ , la dépendance en fonction de la température peut être représentée par l'approximation linéaire :

$$c_{\text{air}} = (331,6 + 0,6 \times \theta) \quad c_{\text{air}} \text{ en m}\cdot\text{s}^{-1} \text{ et } \theta \text{ en } ^\circ\text{C}$$

Vérifier que la valeur trouvée se situe bien dans l'ordre de grandeur attendu (calculer l'écart relatif).

Déterminer, alors, la valeur de  $\gamma$  de l'air de la pièce. Comparer avec la valeur attendue.

## 3°) Coefficients adiabatiques des autres gaz :

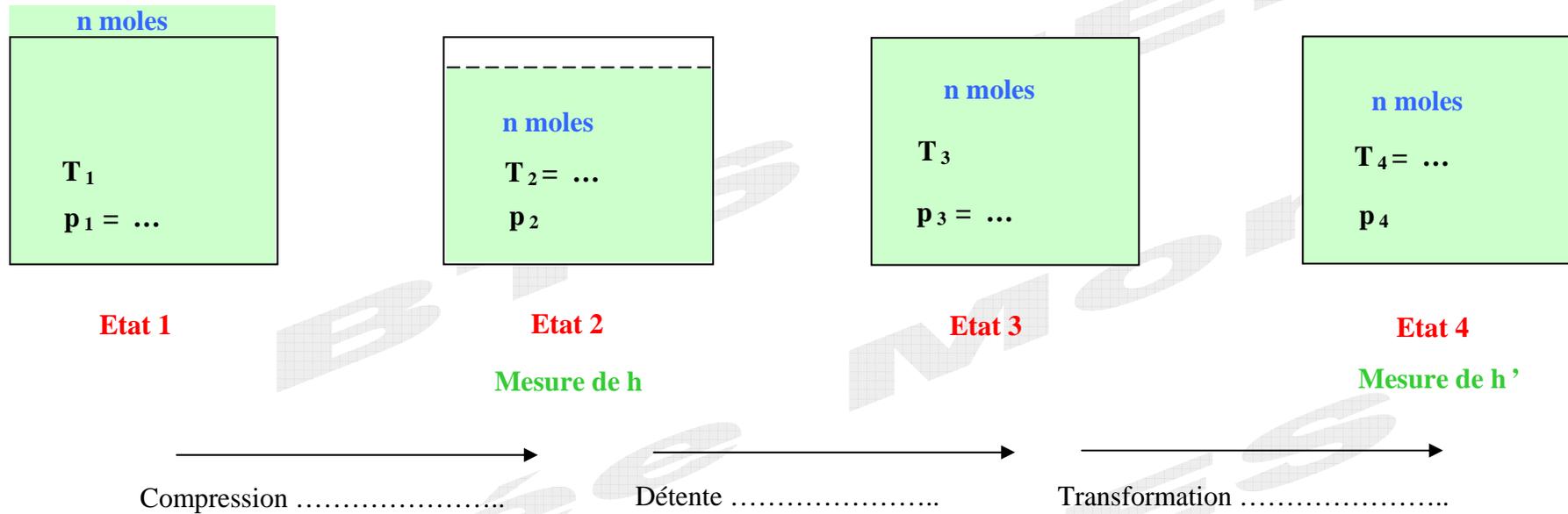
On donne la vitesse du son dans certains gaz. En déduire l'ordre de grandeur du coefficient adiabatique de ces gaz. On admettra qu'ils se comportent comme des gaz parfaits.

Vitesse du son, à  $20^\circ\text{C}$  :

Gaz	Dioxyde de carbone	Ammoniac	Gaz de ville	Hélium	Dihydrogène
$c$ (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	258	428	450	1020	1300

## Annexe

Le récipient contient N moles, dans l'état initial. Le système étudié comporte n moles ; c'est la quantité de gaz qui reste dans le récipient lorsqu'on atteint l'étape 3 (et 4).



**TP n° 1 : Mesures du coefficient adiabatique  $\gamma$  de l'air**

Appareil de Clément-Désormes

Pipette et solution colorée.

Un G.B.F.

Des fils

Un oscilloscope H.P.

Un banc de mesure avec émetteur et récepteur à ultrasons

Un réglet