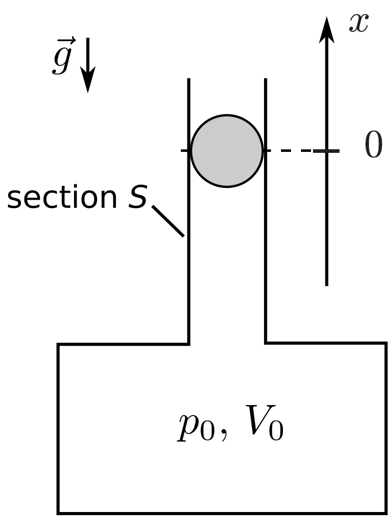
Thermodynamique
Chapitre 3

TD – Dissipation de l'énergie, le second principe

Remarque : exercice avec $\star$: exercice particulièrement important, à maîtriser en priorité (de même que les exemples de questions de cours des "ce qu'il faut savoir faire")| [• ◦ ◦] : difficulté des exercices

I Expérience de Rüchardt [• • ◦]



On considère l'expérience ci-contre, dont l'objectif est d'obtenir une mesure de l'indice adiabatique d'un gaz. Pour cela, un récipient contient un gaz et est fermé par une bille pouvant glisser librement.

On note pour le gaz du récipient, à l'équilibre (lorsque la bille est immobile) : V_0 le volume, T_0 la température, et p_0 la pression. On suppose la masse m de la bille assez faible pour avoir à l'équilibre une pression identique à l'intérieur et à l'extérieur, qu'on note p_0.

On déplace initialement la bille de sa position d'équilibre : elle oscille.

1 - Les oscillations sont assez rapides. Quelle hypothèse peut-on faire sur la transformation subie par le gaz pendant quelques oscillations ?

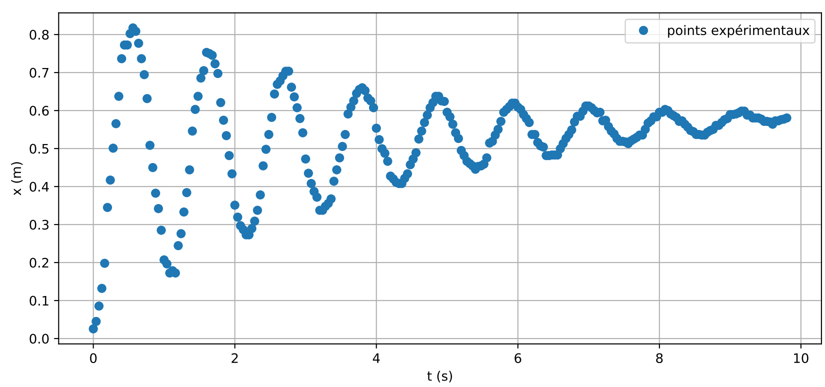
On suppose de plus que pendant les premières oscillations, les frottements sont négligeables et la pression dans la bouteille uniforme. Il n'y a donc aucune création d'entropie. Quelle loi va-t-on pouvoir appliquer ?

2 - Déterminer l'équation différentielle suivie par la position x de la bille pour des oscillations de petite amplitude.

On donne le développement limité : $(1+\varepsilon)^\alpha \simeq 1 + \alpha\varepsilon$ si $|\varepsilon| \ll 1$.

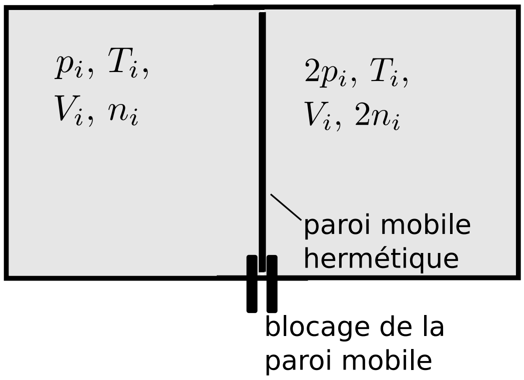
3 - En déduire l'expression de la période des oscillations.

Cette expérience permet ensuite d'en déduire une mesure du coefficient isentropique γ. Une vidéo : https://www.youtube.com/watch?v=vLtU7_AofrM, et un enregistrement par pointage vidéo des oscillations. Pour cette expérience, $\dfrac{mV_0}{p_0 S^2} = 4{,}01 \times 10^{-2}\,\mathrm{s}^2$.



II Compartiment séparé en deux ★ | [● ○ ○]

On considère la situation initiale ci-contre. Le gaz sera supposé parfait, les parois externes calorifugées et la paroi mobile interne diathermane (elle laisse passer la chaleur). On retire les cales : la paroi part vers la gauche, et après une phase transitoire avec quelques oscillations, le système est à nouveau immobile. On attend suffisamment longtemps.



État initial

On donne pour un gaz parfait :

$$S(T,V,n) = S_0 + n\frac{R}{\gamma - 1}\ln\frac{T}{T_0} + nR\ln\frac{V}{V_0}.$$

1 - Déterminer l'état final en fonction de p_i, T_i, V_i et n_i.

2 - Calculer l'entropie créée au cours de la transformation.

3 - Quelles sont les causes d'irréversibilité qui donnent lieu à cette entropie créée ? Comment aurait-on pu récupérer de l'énergie en exploitant mieux la transformation ?

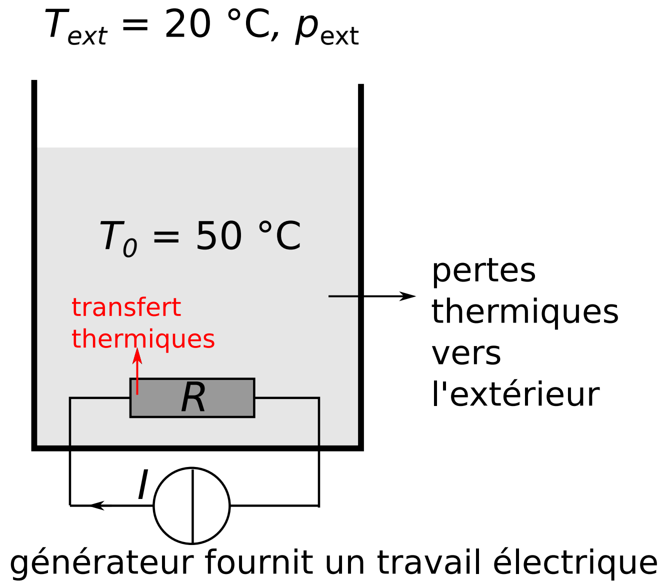
III Effet Joule et création d'entropie [● ○ ○]

On considère une résistance chauffante permettant de maintenir constante la température d'un volume d'eau (une baignoire, piscine, bain thermostaté en chimie...).

On prendra $R = 1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$, $I = 1{,}0\,\mathrm{A}$, une température de l'eau constante égale à $T_0 = 50\,°\mathrm{C}$ et une température externe $T_{\mathrm{ext}} = 20\,°\mathrm{C}$ et pression $p_{\mathrm{ext}} = 1{,}0\,\mathrm{bar}$ (constantes).

On modélisera l'eau, le réservoir et la résistance comme des phases condensées idéales, pour lesquelles $S = S(T) = S_0 + C\ln\frac{T}{T_0}$.

Il est plus simple de raisonner sur le système {eau+réservoir+résistance} pour mener le bilan entropique.



1 - Déterminer l'expression de l'entropie créée pendant une durée de fonctionnement Δt, en fonction de R, I, Δt et T_{ext}.

2 - Quelles sont les causes d'irréversibilité qui donnent lieu à cette entropie créée ?

3 - Montrer que $T_{\mathrm{ext}}S_c$ est égal au travail électrique dégradé (donc au travail électrique consommé et dissipé sous forme de chaleur).