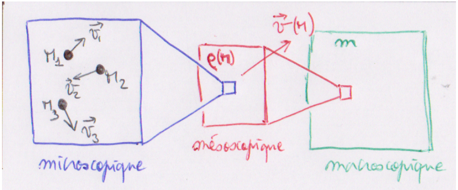
Chap 10 : Thermodynamique statistique

1. Monde microscopique - Monde macroscopique

1.1 Différentes échelles



- microscopique : taille des atomes ou des particules $0,53.10^{-10}$ m
- mesoscopique : libre parcours moyen ou distance parcourue par une particule avant d'en rencontrer une autre 2.10^{-7} m
- macroscopique : taille du système 10^{-2} m

1.2. Micro-état vs Macro état

Prenons l'exemple d'un gaz.

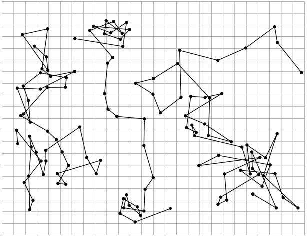
- A l'échelle microscopique on peut définir la position et la vitesse de chacune des particules composant le gaz, on obtient toute l'information sur le système dans un micro-état.

exo : On considère un gaz parfait à température et pression ambiante dans un volume de 1 L. On écrit sur des feuilles papier A4 sur chaque ligne les positions et vitesses de une molécule de gaz. Quel doit être la hauteur de la pile de feuilles pour connaître le micro-état ?

- A l'échelle macroscopique on décrit le gaz à l'aide de quelques grandeurs thermodynamique: pression, volume, température, ... on parle alors de macro-état.
- L'objectif de ce chapitre est de faire le lien entre micro-état et macro-état.

1.3. Statistiques et fluctuations

- On remarque que pour un même macro-état on a un très grand nombre de micro-état (ex: toutes les positions possibles des molécules dans 1L gaz)
- On définit alors les grandeurs macroscopiques comme la moyenne sur tous les micro-états que prend le système (ex: vitesse d'écoulement du gaz et vitesse des particules)



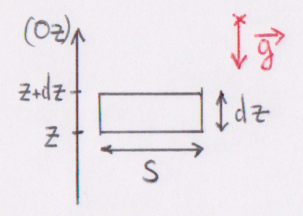
- Mais avec les observation de Brown on remarque qu'il y a des fluctuations de grandeurs macroscopiques, du fait changement du système d'un micro-état à l'autre.

La thermodynamique statistique permet de décrire ces fluctuations.

2. Facteur de Boltzmann

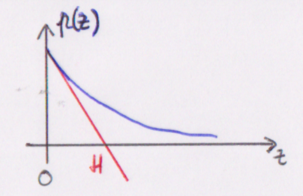
2.1. Modèle d'atmosphère isotherme

exo : Quelles forces s'exercent sur le cylindre élémentaire de section S et d'épaisseur z d'atmosphère ?



exo : Si l'atmosphère est à l'équilibre mécanique, écrire la condition d'équilibre et reformulez là sous la forme $dp + \rho g dz = 0$

exo : Si l'atmosphère est modélisé comme un gaz parfait isotherme montrer que $p(z) = p(0)e^{-z/H}$ avec $H = 9$ km.



2.2. Distribution de Boltzman

- On peut ré-exprimer le résultat précédent en fonction du nombre de particule N dans une volume mésoscopique V à l'altitude z grace à l'équation des gaz parfaits

  $pV = nRT = Nk_B T$

  donc pour une atmosphère isotherme $N \propto p$ donc

  $N(z) = N(0)e^{-z/H}$ avec $H = \frac{RT}{Mg}$
- en thermodynamique statistique on introduit $M = mN_A$ et $R = k_B N_A$ et on obtient $N(z) = N(0)\exp\left(-\frac{mgz}{k_B T}\right)$

  On vient de définir que le nombre de particule d'un gaz à température T évolue avec l'énergie $E = mgz$ des particules d'un facteur $\exp(-\frac{E}{k_B T})$.

- On peut réexprimer le résultat sous la forme générale: dans un système en équilibre thermique avec un thermostat à la température T, la probabilité d'une particule d'accéder à un état d'énergie E, est proportionnelle au facteur de Boltzmann $\exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right)$

exo : Quelle est l'énergie moyenne des particules de gaz dans le cas d'une atmosphère isotherme ?

exo: Considérons un gaz dans un volume V dans une situation où l'on peut négliger tout effet de la pesanteur. Exprimer la probabilité dp qu'une molécule de gaz de masse m ait une vitesse selon la composante x dans l'intervalle $[v_x; v_x + dv_x]$

exo: Exprimer la probabilité dp qu'une molécule de gaz de masse m ait une vitesse $\vec{v}$ tel que $v_{x,y,z} \leq \vec{v}.\vec{e}_{x,y,z} \leq v_{x,y,z} + dv_{x,y,z}$.

exo: Calculer la vitesse moyenne des particules d'un gaz.

exo: Calculer la vitesse quadratique moyenne (moyenne du carré de la vitesse) des particules d'un gaz.

exo: En déduire l'énergie cinétique moyenne des particules d'un gaz. Commenter le terme d'agitation thermique.