



Facteur de Boltzmann. Exemples.

Niveau : L3

Pré-requis



- Mécanique des fluides : principe fondamental de la statique des fluides
- Thermodynamique : gaz parfaits (hypothèses, équation d'état), échelle micro/méso/macrosopique
- Magnétisme : moment magnétique, paramagnétisme
- Thermodynamique statistique : ensemble microcanonique

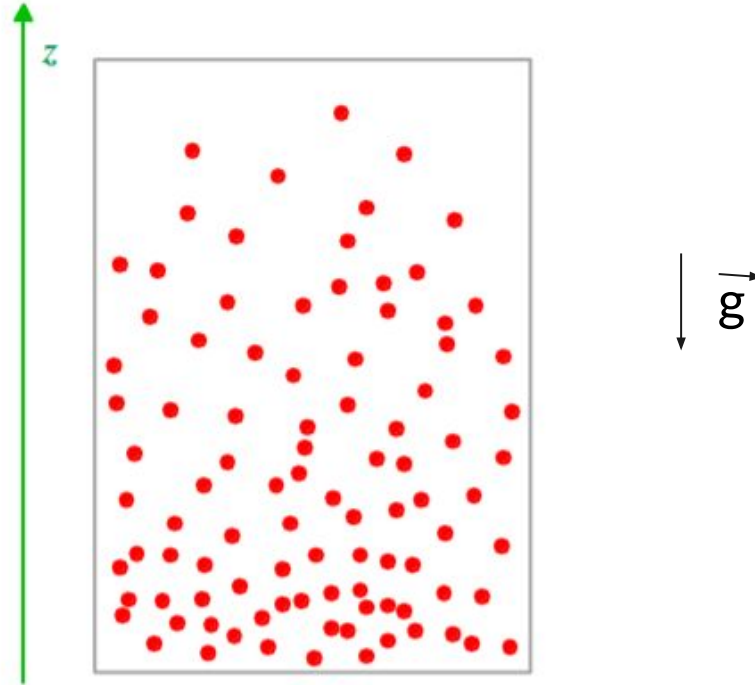
Niveau : L3

Introduction

Expérience de Jean Perrin (1908) : <https://images.cnrs.fr/video/2080>



Atmosphère isotherme



Expérience de Jean Perrin - Paramètres



Vidéo de l'expérience : <https://images.cnrs.fr/video/2080>

Grains de gomme-gutte :

- grains sphériques
- rayon $R_b = 0,212 \mu\text{m}$
- masse volumique $\mu_b = 1,194 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

Plongés dans de l'eau légèrement sucrée de masse volumique $\mu_e = 1,003 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

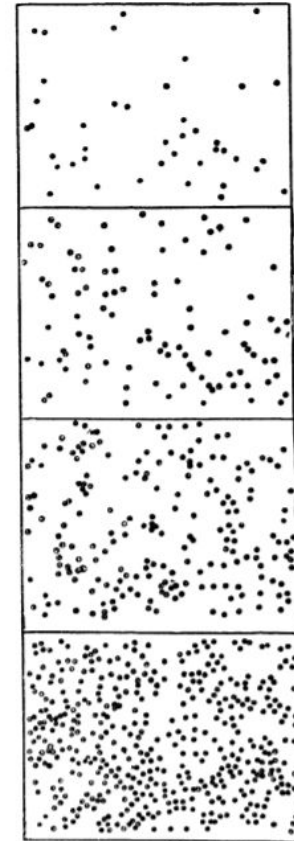
$T = 20^\circ\text{C}$

Expérience de Jean Perrin - Hypothèses

4. Revenons à l'hypothèse moléculaire. Comme vous savez, aussitôt qu'on l'admet, on est conduit à admettre l'existence d'**atomes**

de sa vis micrométrique. On voit alors les grains se raréfier rapidement, comme fait l'atmosphère autour d'un aérostat qui s'élève, à cette réserve que quelques microns dans l'émulsion valent plusieurs kilomètres dans l'atmosphère.

Jean Perrin. Mouvement brownien et molécules. *J. Phys. Theor. Appl.*, 1910, 9
(1), pp.5-39. [ff10.1051/jphystap:0191000900500ff.ffjpa-00241577f](https://doi.org/10.1051/jphystap:0191000900500ff.ffjpa-00241577f)



Gomme-gutte.

FIG. 1.

Expérience de Jean Perrin - Résultats

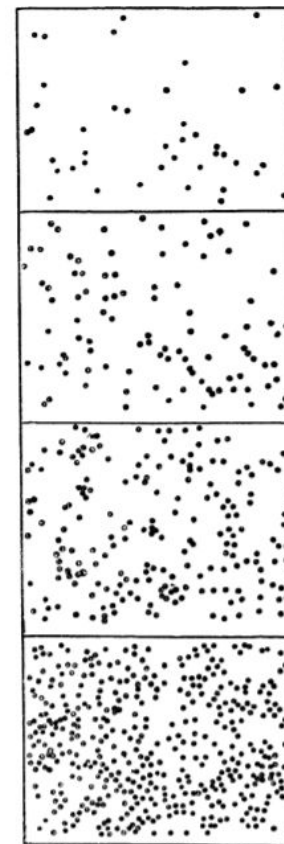
A titre d'exemple, je vous donne les résultats relatifs à ma série la plus soignée, faits avec des grains de gomme-gutte ayant pour rayon $0,212$. Les lectures ont été faites dans une préparation haute de 100 microns, en quatre tranches horizontales placées de 30 en 30 microns, aux niveaux

5μ , 35μ , 65μ , 95μ .

Elles ont porté sur 13 000 grains, et ont donné pour ces niveaux des concentrations proportionnelles aux nombres

100, 47, 22,6, 12,

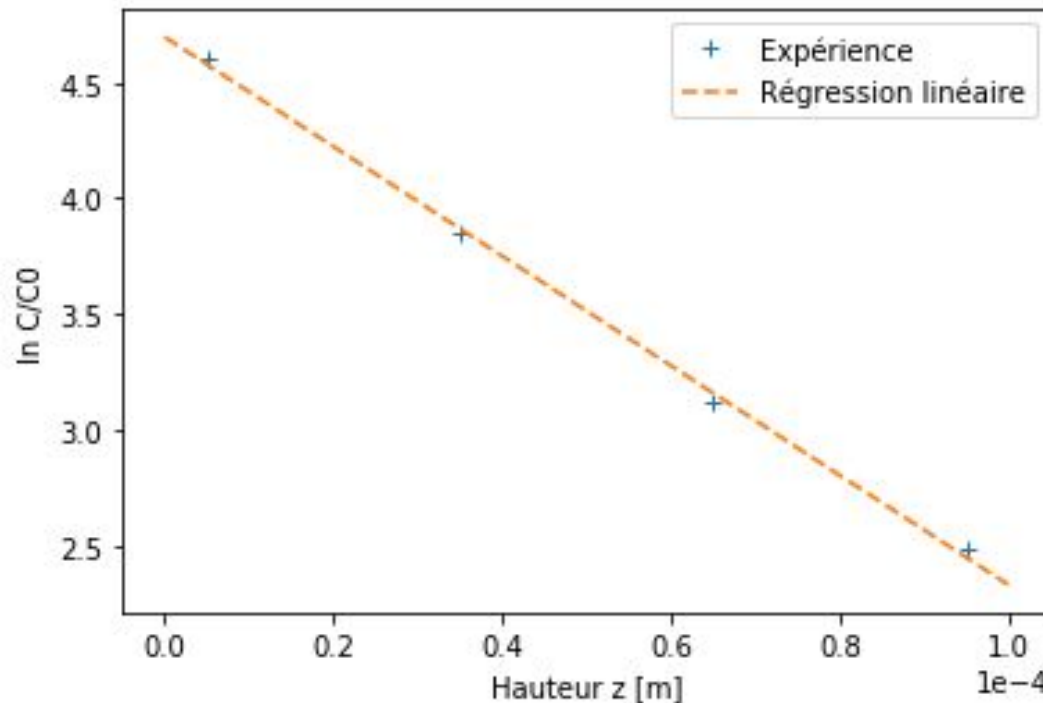
Jean Perrin. Mouvement brownien et molécules. *J. Phys. Theor. Appl.*, 1910, 9 (1), pp.5-39. [ff10.1051/jphystap:0191000900500ff.ffjpa-00241577f](https://doi.org/10.1051/jphystap:0191000900500ff.ffjpa-00241577f)



Gomme-gutte.

FIG. 1.

Expérience de Jean Perrin - Résultats



$$\ln C = \ln C_0 - \frac{(\mu_b - \mu_e)V_b g}{k_B T} z$$

$$k_B^{\text{Perrin}} = 1,16 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$$

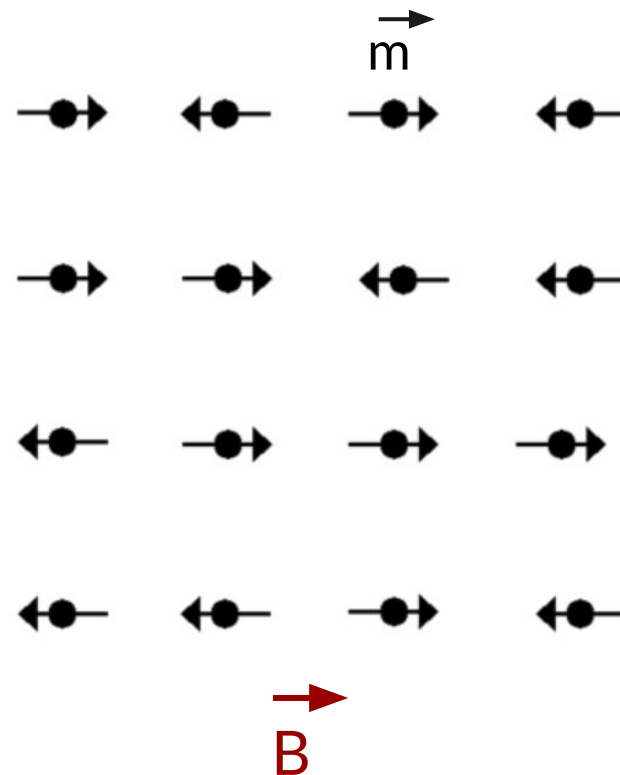
$$k_B^{\text{tab}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$$

Erreur relative de 16% !

il devient assez difficile de nier la réalité objective des molécules.

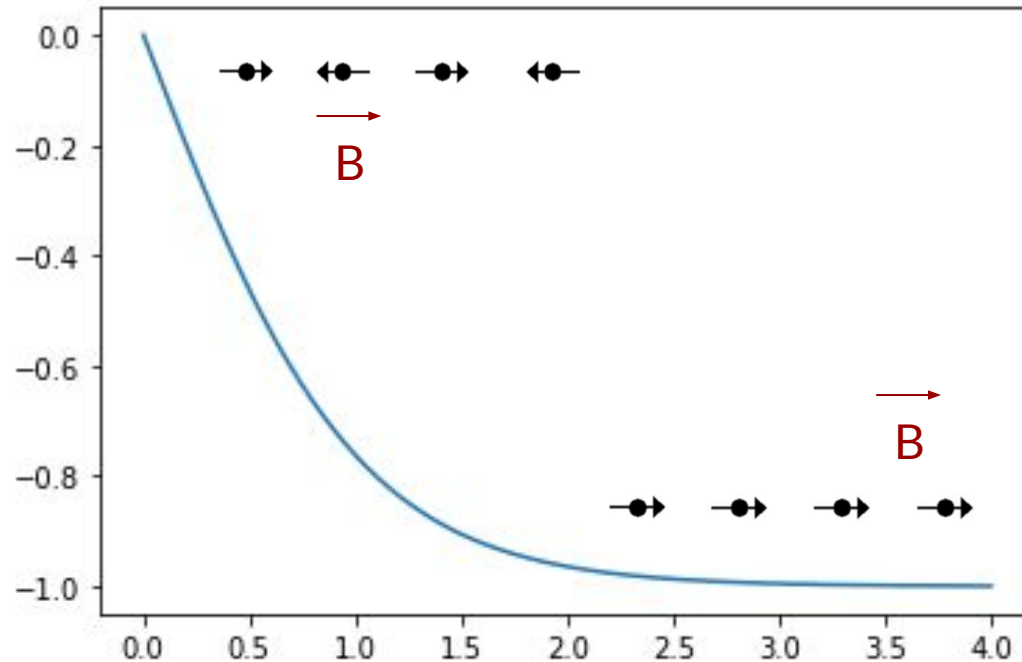
Paramagnétisme - Système étudié

- Solide cristallin constitué de N atomes discernables, indépendants et possédant un moment magnétique propre $\vec{m}$
- Champ magnétique uniforme $\vec{B} = B_0 \vec{e}_z$



Paramagnétisme - Résultats

$$\frac{\langle E \rangle}{NmB}$$



$\beta m B$

Conclusion

Capacité calorifique des gaz :

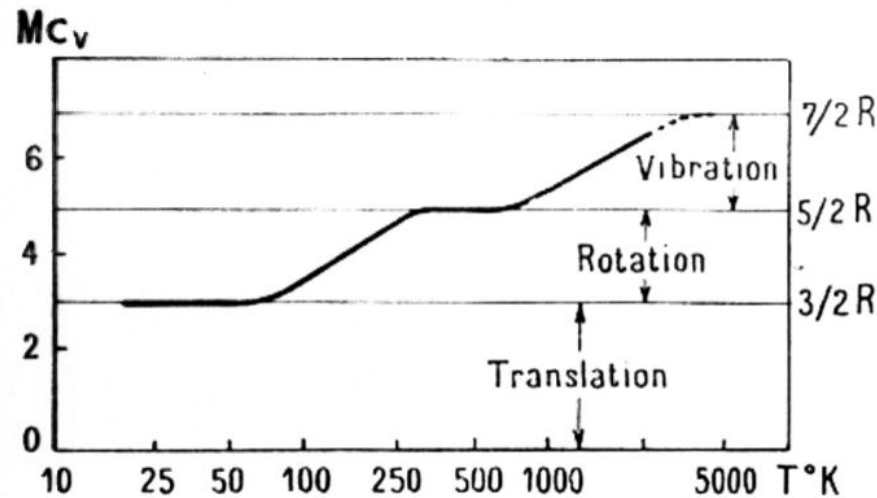


Fig. 10-13. — Variation de la capacité calorifique moléculaire de l'hydrogène avec la température.

Annexe



4. Revenons à l'hypothèse moléculaire. Comme vous savez, aussitôt qu'on l'admet, on est conduit à admettre l'existence d'**atomes** par diverses considérations de chimie et particulièrement par l'étude des substitutions. Quand, par exemple, on dissout du calcium dans l'eau, on chasse seulement la moitié de l'hydrogène qu'elle contient. L'hydrogène de cette eau et, par suite, l'hydrogène de chaque molécule se compose donc de deux parties distinctes. Aucune expérience ne conduisant à en distinguer davantage, il est raisonnable de penser que ces deux parties sont insécables par tous les moyens chimiques, ou, d'un mot, que ce sont des *atomes*. D'autre part, toute masse d'eau, et par suite toute molécule d'eau, pèse 9 fois autant que l'hydrogène qu'elle contient ; la molécule d'eau, qui contient 2 atomes d'hydrogène, pèse donc 18 fois plus que l'atome d'hydrogène. De semblable manière, on établirait, par exemple, que la molécule de méthane pèse 16 fois plus que ce même atome d'hydrogène. On peut atteindre ainsi, par voie purement chimique, en passant par la notion d'atome, le rapport $16/18$ du poids de la molécule de méthane au poids de la molécule d'eau.

Annexe



La préparation est alors portée sur la platine, rendue soigneusement horizontale, d'un bon microscope. L'objectif, de très fort grossissement, a une faible profondeur de champ, et l'on ne peut voir nettement, à un même instant, que des grains situés dans une tranche horizontale très mince dont l'épaisseur est de l'ordre du micron. Si l'on élève ou abaisse le microscope, on voit les grains d'une autre tranche.

12. Après quelques tâtonnements, j'ai pu faire des mesures sur des émulsions de gomme-gutte, puis (avec l'aide de M. Dabrowski) sur des émulsions de mastic.

La *gomme-gutte*, qu'on utilise pour l'aquarelle, provient de la dessiccation du latex que sécrète le *guttier* d'Indo-Chine. Un morceau de cette substance, frottée à la main sous un filet d'eau distillée (comme on pourrait faire avec du savon pour avoir de l'eau de savon), se dissout en donnant une belle émulsion d'un jaune vif, où le microscope révèle un fourmillement de grains sphériques jaunes de diverses tailles. On peut séparer ces grains par centrifugation comme on sépare les globules rouges et le sérum du sang. Ils se rassemblent alors au fond de l'éprouvette centrifugée en formant une boue jaune épaisse au-dessus de laquelle se trouve un liquide impur et trouble qu'on décante. La boue jaune, diluée à nouveau dans de l'eau, donne l'émulsion mère qui servira à préparer les émulsions uniformes destinées aux mesures.