

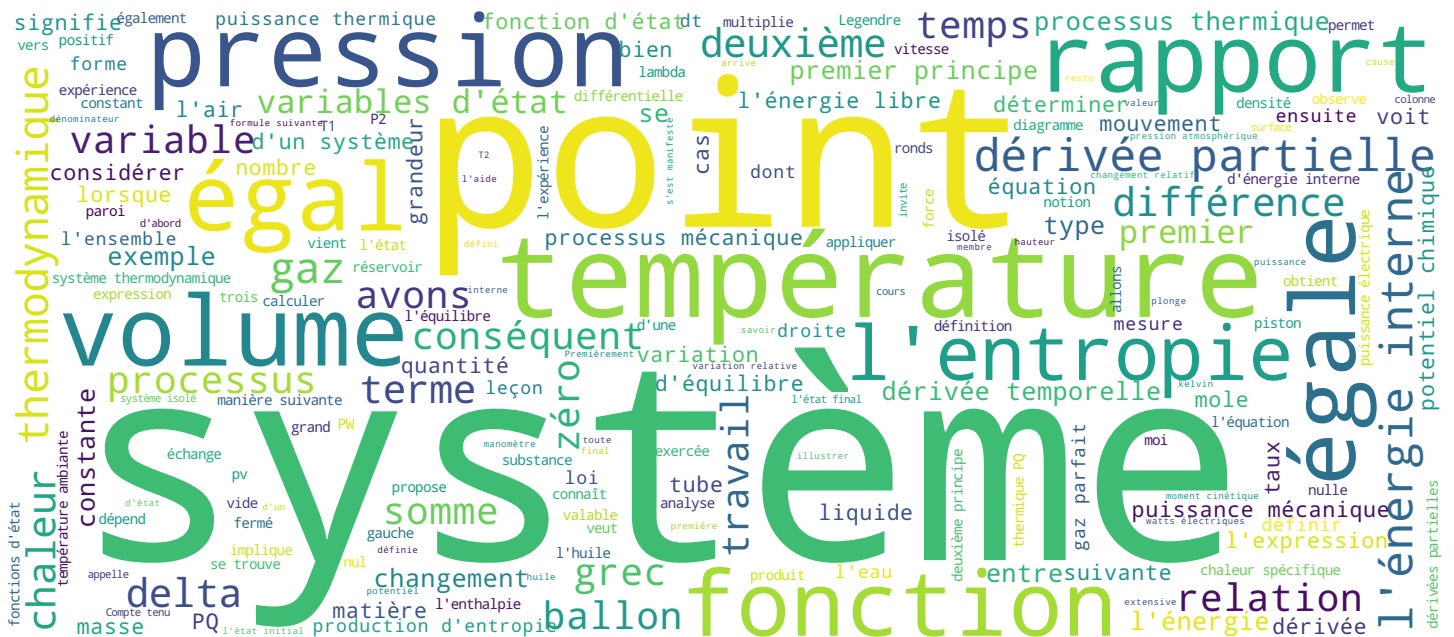
# Thermodynamique

## Expériences : Premier principe

Prof. Jean-Philippe Ansermet



Joule



## Search MOOC



## Video





● Processus thermique

● Processus mécanique

Thermodynamique

Comme convenu, je vous retrouve pour illustrer cette leçon avec quelques expériences. Le premier principe. Implique que si l'énergie d'un système change. Un processus agit sur ce système. On distingue deux types de processus les processus thermiques et les processus mécaniques. Dans cette vidéo, je vais vous montrer deux expériences pour illustrer ces deux types de processus. On va commencer avec un processus thermique et on verra ensuite un processus mécanique.

Notes

Summary



0m 05s



Commençons par un processus thermique. Nous avons ici un ballon de verre contenant de l'air. On mesure la pression du gaz dans le ballon grâce à un tube en U contenant un liquide coloré. Au début de l'expérience, la pression dans le ballon de vers est égale à la pression atmosphérique ambiante. On plonge alors le ballon dans de l'eau froide. Le gaz refroidit. C'est un processus thermique. On observe que la pression diminue. Ensuite, on le plonge dans de l'eau chaude et on observe que la pression augmente. Passons maintenant à un processus mécanique. Nous avons ici une petite expérience qui imite le calorimètre que Joule avait conçu pour étudier ce qu'on appelait alors l'équivalence du travail et de la chaleur. Nos bras sont une huile épaisse avec un brasseur qui est entraîné par un moteur électrique dont on mesure la puissance électrique. On voit qu'il faut environ 28 watts électriques pour.

Notes

Summary





**Puissance à vide = 9W**

Vous pourriez objecter que même à vide, il faut une certaine puissance électrique pour entraîner le moteur. Vous avez raison, mesurons cette puissance.

Notes

Summary







On voit qu'il faut neuf watts à vide. On peut donc conclure qu'une bonne partie de la différence, soit 18 watts, contribue au travail mécanique opéré sur l'huile. On peut alors mesurer la température de l'huile sous l'effet du brassage. On constate que, en 120 secondes, l'huile a augmenté de température de 3,4 kelvins.

Notes

Summary



2m 21s



- Effet mécanique d'un processus thermique
- Effet thermique d'un processus mécanique

Thermodynamique

En résumé, on a vu un processus thermique qui s'est manifesté par un changement de la pression. Ensuite, on a vu un processus mécanique qui s'est manifesté par un changement de température.

Notes

Summary



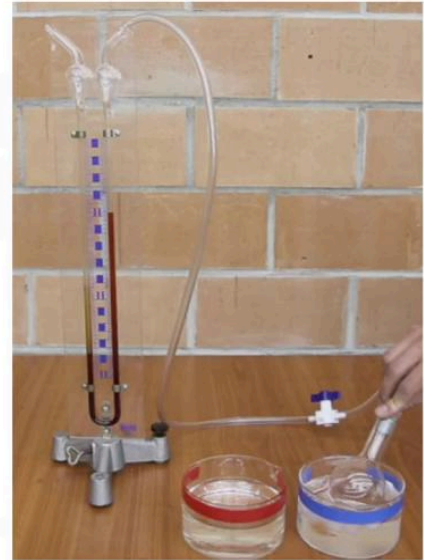
3m 00s

# Ordres de grandeurs : processus thermique

$$h = 17 \text{ cm} \quad \rho \approx 1000 \text{ kg / m}^3 \quad p_0 \approx 101'325 \text{ Pa}$$

$$|\Delta p| = \rho g h \quad \frac{|\Delta p|}{p_0} \approx 0.016$$

$$\frac{|\Delta p|}{p_0} = \frac{|\Delta T|}{T_0} \approx 0.016 \quad \Delta T \approx -5 \text{ K}$$



Thermodynamique

Je vous propose maintenant de conduire une analyse quantitative de ces deux expériences. Vous pouvez me suivre si vous avez quelques notions élémentaires de thermodynamique. Sinon, je vous invite à revoir ce passage lorsque vous aurez suivi le mot jusqu'à la cinquième leçon. Reprenant l'expérience du processus thermique, le manomètre indique une différence de hauteur dans les colonnes de liquide de 17 cm. La pression atmosphérique est donnée ici en pascals. Et la différence de pression que représente le manomètre est égale à la masse volumique fois HG de l'accélération terrestre. Fois la hauteur de la colonne de liquide. On ne connaît pas exactement la densité de ce liquide, mais elle doit être très voisine de l'eau. Donc on va prendre 1000 kilos par mètre cube et on a donc un changement relatif de la pression d'à peu près un virgule 6 %. Si on applique la loi des gaz parfaits  $pV = nRT$ . Le volume étant constant, on a la variation relative de pression qui est égale à la variation relative de la température, ce qui implique un changement de température d'environ cinq kelvins. Franchement, je trouve que c'est trop peu.

Notes

Summary



3m 18s

# Ordres de grandeurs : processus thermique

$$h = 17 \text{ cm} \quad \rho \approx 1000 \text{ kg / m}^3 \quad p_0 \approx 101'325 \text{ Pa}$$

$$|\Delta p| = \rho gh \quad \frac{|\Delta p|}{p_0} \approx 0.016$$

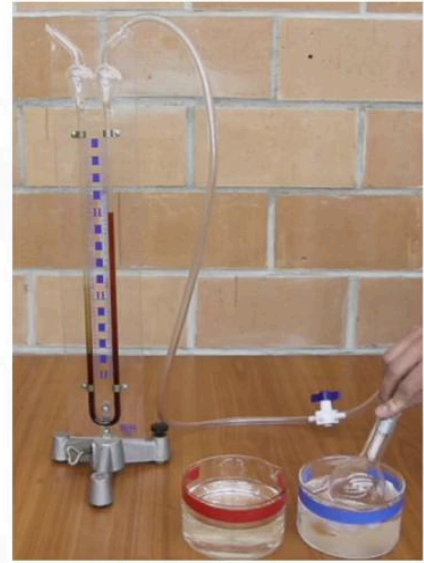
$$\frac{|\Delta p|}{p_0} = \frac{|\Delta T|}{T_0} \approx 0.016 \quad \Delta T \approx -5 \text{ K}$$

A : ballon dans l'eau, B : tube à température ambiante

$$N_A RT_A = p_A V_A \quad N = N_A + N_B = \frac{p_0(V_A + V_B)}{RT_0}$$

$$N_B RT_B = p_A V_B$$

$$\left(1 - \frac{T_A}{T_0}\right) = \frac{(p_0 - p_A)(1 + \frac{V_B}{V_A})}{p_0 + (p_0 - p_A)\frac{V_B}{V_A}}$$



Thermodynamique

Je doute que le préparateur s'est donné le mal de faire un mélange d'eau froide, qu'il y a juste cinq degrés de moins ou de plus que la température ambiante. Je vous invite à faire une pause et essayer de voir ce qui n'était pas correct dans mon analyse. Je pense que ce qui ne va pas dans mon analyse. C'est qu'on a ignoré le volume de gaz dans le tube qui lie le ballon au manomètre. Ce gaz là reste à la température ambiante. Pour analyser l'effet de ce gaz résiduel, je vous propose la démarche suivante. On va noter un le sous système du ballon et b le sous système de l'air dans le tube. On va appliquer la loi des gaz parfaits dans le sous système A et dans le sous système B, la somme des moles A et B. On peut la déterminer si on connaît le volume total par une mesure faite à pression ambiante et température ambiante. On a alors trois équations et on a trois inconnues. Un a nb était à. Vous noterez que dans ces équations j'ai mis la même pression, pas dans le ballon et dans le tube comme il se doit. Après quelques manipulations algébriques. On arrive à la formule suivante pour le changement relatif de température en fonction des pressions et des volumes.

Notes

Summary



4m 42s



# Ordres de grandeurs : processus thermique

$$h = 17 \text{ cm} \quad \rho \approx 1000 \text{ kg / m}^3 \quad p_0 \approx 101'325 \text{ Pa}$$

$$|\Delta p| = \rho g h \quad \frac{|\Delta p|}{p_0} \approx 0.016$$

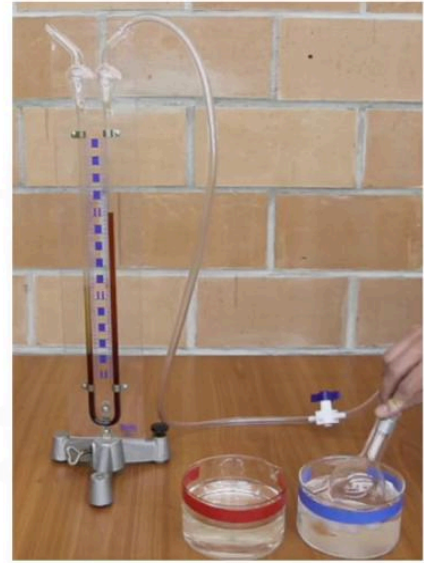
$$\frac{|\Delta p|}{p_0} = \frac{|\Delta T|}{T_0} \approx 0.016 \quad \Delta T \approx -5 \text{ K}$$

A : ballon dans l'eau, B : tube à température ambiante

$$N_A R T_A = p_A V_A \quad N = N_A + N_B = \frac{p_0 (V_A + V_B)}{R T_0}$$

$$N_B R T_B = p_A V_B$$

$$\left(1 - \frac{T_A}{T_0}\right) = \frac{(p_0 - p_A)(1 + \frac{V_B}{V_A})}{p_0 + (p_0 - p_A)\frac{V_B}{V_A}} \approx \left(1 - \frac{p_A}{p_0}\right) \left(1 + \frac{V_B}{V_A}\right)$$



Thermodynamique

Dans cette formule. Au dénominateur, on a la différence de pression  $p_0$  au moins  $p_A$  qui vient à côté d'un  $P_0$ . On vient de déterminer que cette différence de pression est très faible. On va donc négliger ce terme au dénominateur et on arrive à la très jolie formule suivante. Ou on voit maintenant un facteur correctif en plus  $V_B$  surveillera. Si par hasard, le volume de gaz dans le tube était à peu près égale au volume de gaz dans le ballon, on a un facteur deux. On a donc une différence de température de dix kelvins, ce qui me paraît raisonnable.

Notes

Summary



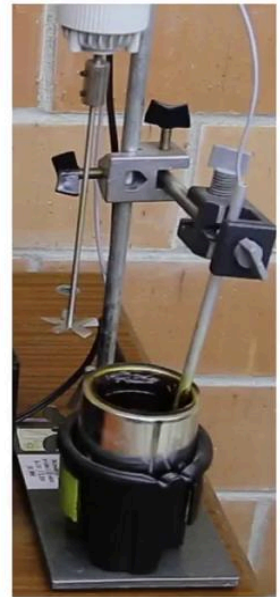
# Ordres de grandeurs : processus thermique

observés :  $P_W = 19 \text{ W}$ ;  $\delta t = 120 \text{ s}$ ;  $\Delta T = 3.4 \text{ K}$

$$\Delta U = mc_V \Delta T \quad c_V \approx 2.2 \text{ J / (g K)} \quad m \approx 200 \text{ g}$$

$$\dot{U} = P_W$$

$$\dot{U} \approx \frac{\Delta U}{\delta t} \approx 12 \text{ W}$$



Thermodynamique

Passons maintenant à l'expérience. On a chauffé de l'huile en brassant. Donc avec un processus mécanique. Je vous rappelle ici les données expérimentales. On avait estimé la puissance électrique. On a brassé l'huile pendant 120 secondes et on a obtenu un changement de température de 3,4 kelvins. Si on utilise la notion de chaleur spécifique, on peut calculer le changement d'énergie interne de l'huile. Avec cette formule  $M c_v \Delta T$  la masse de l'huile  $c_v$ , la chaleur spécifique par unité de masse de cette huile. En allant regarder des valeurs typiques pour des huiles très épaisses, j'ai estimé que la valeur raisonnable c'était 2,2 joule par gramme. Et par quel film ? Et on a à peu près 200 grammes d'huile. Je peux maintenant appliquer cette loi d'évolution qu'on a discuté avec le premier principe. Pour l'énergie interne du point égal, la puissance mécanique. Et ici le point, je peux l'estimer. De la manière suivante j'ai le  $\Delta U$  grâce à mon estimation de la chaleur spécifique et le  $\delta t$  c'est 120 secondes je trouve. Douze watts, c'est moins que les 19 watts électriques, mais ce n'est pas loin. Il y a beaucoup d'incertitudes sur tous ces paramètres. Et en plus, le moteur pourrait très bien avoir une efficacité de l'ordre de septante.

Notes

Summary

