

PETITE HISTOIRE

DE LA SCIENCE DE L'ÉNERGIE



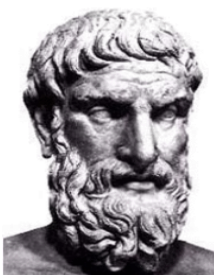
Table des matières

EPICTURE VS ARISTOTE ? (Premières polémiques autour du vide)	3
L'HORREUR DU VIDE ? (la fin de l'horreur du vide, recherches sur la pression)	5
PREMIERES MACHINES (le vide par condensation)	7
QU'EST CE QUE LA CHALEUR ? (la puissance de la vapeur)	9
L'ŒUVRE DE CARNOT (la puissance de la vapeur)	11
LE MERVEILLEUX XIX^E SIECLE (naissance de la thermodynamique)	13

Epicure

Lettre à Hérodoté

Développant les arguments de Leucippe et Démocrite



[...] s'il n'y avait pas ce que nous appelons « vide », « place » et « nature intangible », **il n'y aurait nul endroit où les corps pourraient être, ni au travers duquel ils pourraient se mouvoir**, comme il apparaît clairement qu'ils le font. [...] De plus, parmi les corps, les uns sont des composés et les autres ceux dont les composés sont faits. Or **ces seconds corps sont insécables** <atomos> et immuables. [...]

En outre, les atomes se meuvent de manière continue et cela éternellement [...]. Car **la nature du vide qui sépare chacun d'eux en lui-même, permet cela, parce qu'elle n'est pas à même de fournir un appui**. La solidité propre aux atomes, dans le choc, les fait rebondir en vibrant [...]. Il n'y a pas de commencement à ces mouvements, les atomes et le vide étant éternels.

Aristote de Stagire

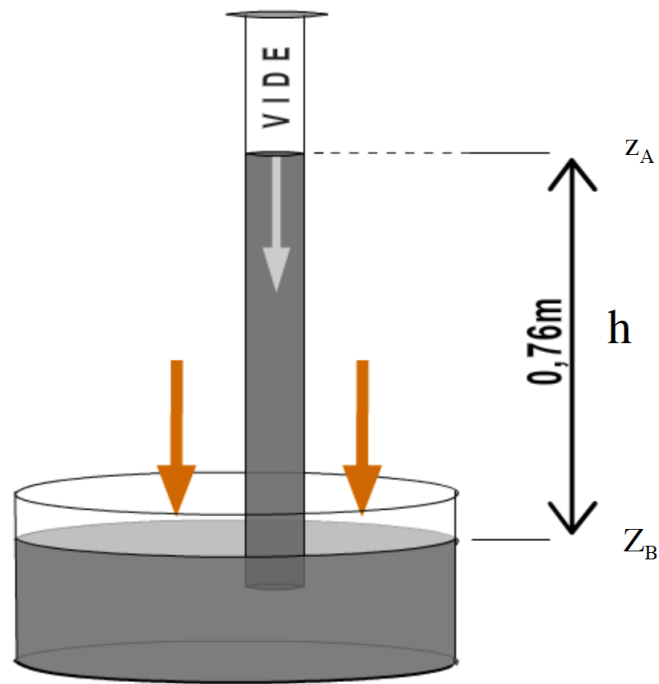
Physique (livre IV)



Mais ceux qui disent que l'existence du vide est nécessaire s'il doit y avoir mouvement sont plutôt conduits à la position contraire si l'on regarde les choses bien : il ne serait pas possible qu'une seule chose soit mue s'il y avait du vide. En effet, [...] **il est nécessaire que dans le vide les choses soient au repos**. Car **il n'y a pas d'endroit dans lequel il y aura plus ou moins de mouvement**. [...]

Ensuite, tout mouvement est forcé, soit selon la nature [...] Les projectiles se meuvent encore, alors que ce qui les a mis en branle ne les touche plus, soit du fait d'un échange réciproque [...], soit du fait que l'air qui a été mis en branle produit un mouvement plus rapide que le transport de l'objet mis en branle qui porte cet objet dans son lieu propre. Mais **dans le vide rien de cela ne peut être, et il n'y aura pas de transport**, à moins qu'il ne soit véhiculé par autre chose.

De plus, nul ne pourrait dire pourquoi une chose qui a été mise en mouvement s'arrêterait quelque part ; car pourquoi ici plutôt que là ? **De sorte que soit elle restera au repos, soit elle sera nécessairement transportée indéfiniment, si rien de plus fort ne l'en empêche**.



Le tube de Torricelli

Relation fondamentale de l'hydrostatique : $\frac{dP}{dz} = -\rho \times g$

Conduit à : $P_B - P_A = \rho \times g \times (z_B - z_A) = \rho \times g \times h$ donc : $P_B = \rho \times g \times h$ ($P_A = 0$ hPa)

Pour le mercure :

$$h = \frac{P_B}{\rho_{\text{mercure}} \times g} = \frac{101300}{13600 \times 9,8} \approx 0,76m \approx 760mm$$

Pour l'eau :

$$h = \frac{P_B}{\rho_{\text{eau}} \times g} = \frac{101300}{1000 \times 9,8} \approx 10,3m$$

L'horreur du vide ?

Réflexions sur la pression

Evangelista Torricelli (1608-1647)



Mathématicien et physicien italien. Il est assistant et ami de **Galilée** à la fin de sa vie. Travaux en géométrie, sur le mouvement des projectiles, en hydrodynamique et en optique. Il est surtout connu pour avoir démontré l'existence de la pression atmosphérique et inventé le baromètre à mercure.

Blaise Pascal (1623-1662)

Il invente à l'âge de 19 ans la première calculatrice mécanique (la pascaline) pour son père. Mathématicien de talent, il écrit à la fin de sa vie *Les Provinciales* et les *Pensées*. Il conçoit les expériences qui mettent en évidence les effets de la pression atmosphérique et met fin au concept d'horreur du vide.



Edme Mariotte (1620-1684)



Ordonné prêtre très jeune il est passionné par les sciences. Il publie en 1676 une loi sur le comportement élastique des gaz. La même que celle trouvée par **Boyle** peu auparavant. Il découvre la tache aveugle de l'œil. Il est membre de la première Académie des sciences de Paris en 1666. Il s'intéresse au mouvement des fluides, la nature de la couleur, les notes de la trompette, le baromètre etc...

Robert Boyle (1627-1691)

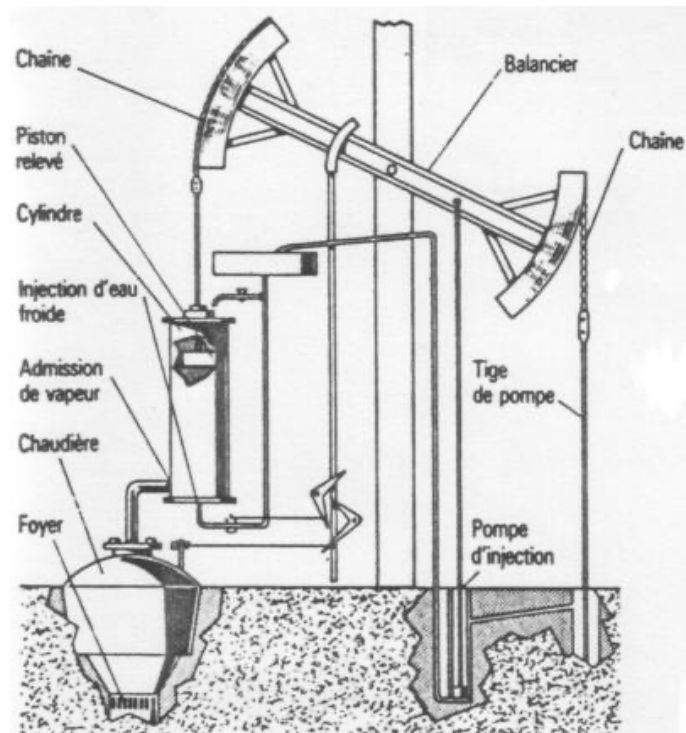
Il est le fondateur de la Société Royale de Londres. Scientifique de grande valeur, il travaille à Oxford avec **Hooke** sur les gaz et établit la loi qui porte son nom. Il poursuit les travaux d'**Otto Von Guericke** sur les forces de pression de l'air. Il admet en 1676 le jeune **Denys Papin** dans son laboratoire. Il poursuit avec lui ses recherches sur la "vapeur de l'eau bouillante".



Christian Huygens (1629-1695)



Scientifique néerlandais, Huygens établit le premier la conservation de ce qu'on appellera plus tard l'énergie cinétique. Il est appelé par Colbert en 1666 et devient membre éminent de l'Académie Royale de Sciences. En 1675, avec son jeune assistant **Denys Papin**, il permet le déplacement d'un piston dans un cylindre en utilisant de la poudre à canon. L'ancêtre du moteur moderne.



La machine de Newcomen



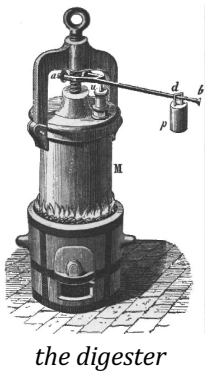
«Fairbottom Bobs »

Vestiges d'une machine de Newcomen de 1760 à Ashton-under-Lyne, au Nord-est de l'Angleterre, utilisée jusqu'en 1834 pour drainer l'eau d'un canal d'une mine de charbon. Photographie prise en 1880

Source : The Newcomen Steam Engine

Premières machines

Le vide par condensation



Denys Papin (1647-1714?)

Originaire de Blois, il obtient un diplôme de médecine et devient docteur en 1669. Il est passionné par la physique. Il travaille dès 1670 auprès de **Christian Huygens** puis de **Leibniz**. Il travaille ensuite avec de **Robert Boyle** à Oxford. Il invente une pompe à incendie, une machine à élever l'eau, la cocotte-minute, son célèbre "digester" et la machine atmosphérique présentée un peu plus loin.



Edmond Halley (1656-1742)



Astronome, scientifique et ingénieur. C'est un des rares amis de **Newton**. Il prédit le passage de la comète de 1682 pour 1758. Elle portera son nom. Il met en évidence le cycle de l'eau. Il établit la carte la plus précise de son époque du ciel austral. Il met également en lumière le rôle de la chaleur du soleil dans le mouvement des masses d'air et plus particulièrement des alizés.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716)

Le grand rival allemand de Newton est à la fois philosophe, scientifique, mathématicien, logicien, diplomate, juriste... Il correspond régulièrement avec **Huygens**. Il établit le concept de "force vive" (l'énergie cinétique). Il définit l'énergie potentielle comme différentielle de l'énergie cinétique. Il correspond avec son ami **Denys Papin** et soutient ses travaux. Il étudie en Angleterre la machine de **Savery**.



Thomas Savery (1650-1715)

Il découvre semble-t-il la possibilité de faire le vide par condensation. En 1698, ce mécanicien anglais dépose un brevet sur une pompe destinée à l'exploitation minière, fonctionnant à la vapeur. Elle est installée dans les mines de Cornouailles. Le principe de sa machine sera repris et profondément modifié par **Newcomen** puis **Watt** pour ensuite participer à la mécanisation de l'Europe.

Thomas Newcomen (1664-1729)

Il développa sa machine à vapeur en s'associant à **Thomas Savery** en 1712. Ce dernier possédant le brevet de création de vide par condensation. En 1712, il construit sa première machine près d'un puits de mine inondé. À sa mort, Newcomen avait installé plus d'une centaine de ses machines, au sud-ouest de l'Angleterre, dans les Midlands, au nord du Pays de Galles et en Cumbrie.



LES EXPÉRIENCES DE BLACK

La chaleur absorbée par la glace est $Q_1 = L.m_1 + m_1.C.(T_{eq} - 0)$.

La chaleur fournie par l'eau est $Q_2 = m_2.C.(T_{eq} - T_i)$.

Premier principe : $Q_1 + Q_2 = 0$

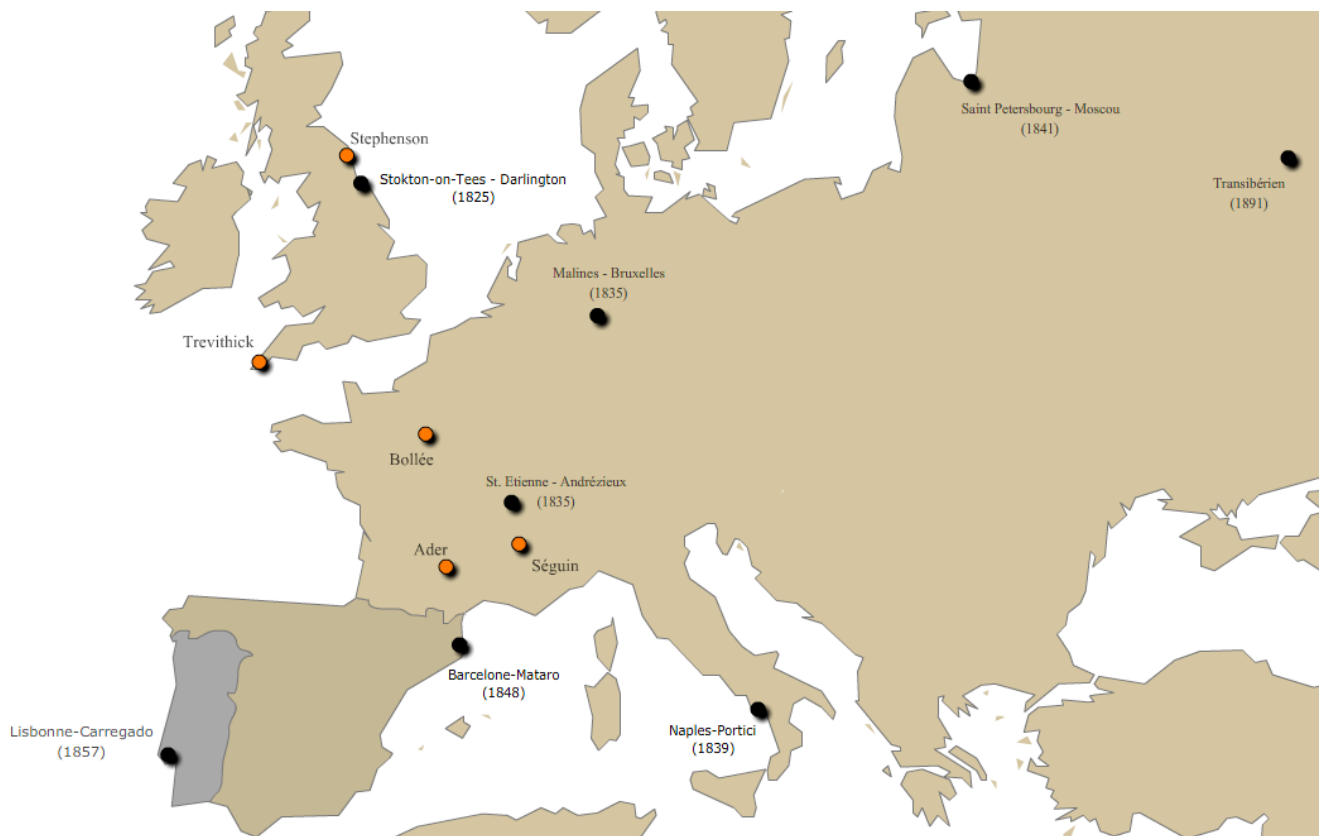
$$L = C \left[\frac{m_2}{m_1} (T_i - T_{eq}) - T_{eq} \right]$$

Données

- $T_i = 79\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{eq} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m_1 = m_2 = 1\text{ kg}$
- $C = 4180\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

$$L \approx 3.29 \times 10^5\text{ J/kg}$$

PREMIÈRE LIGNE DE CHEMINS DE FER



Qu'est-ce que la chaleur ?

La puissance de la vapeur

Antoine Laurent de Lavoisier (1764-1794)

Fermier général sous l'ancien régime, il se passionne pour les sciences. Il identifie et nomme l'oxygène et l'azote. Il adopte le calorique de Black. Il conçoit le calorimètre à glace et mesure des chaleurs de réaction. Il fonde la chimie quantitative. Il est chargé de définir le kilogramme comme "la masse d'un litre d'eau de glace fondante". Le Tribunal révolutionnaire le condamne comme ancien fermier général. Il est guillotiné en 1794.



Joseph Black (1728-1799)

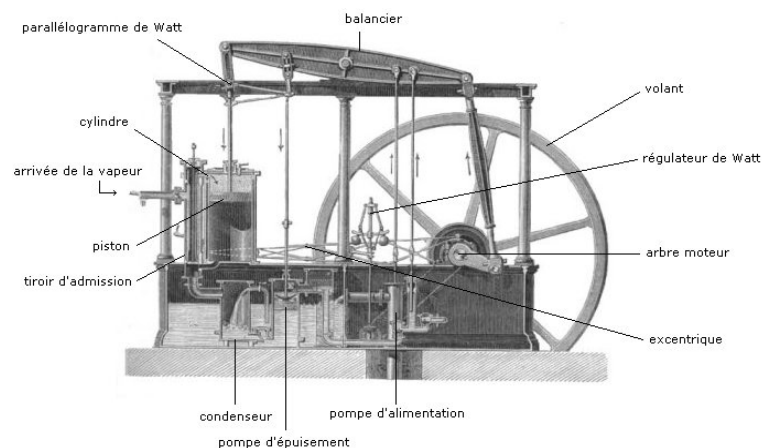


Physicien et chimiste écossais. Professeur de médecine et de chimie à Glasgow, puis à Edimbourg. Il dégage la notion de quantité de chaleur (massique et latente). Il apporte son savoir théorique à James Watt.

Il est l'initiateur de la théorie du calorique, adoptée par Lavoisier puis Carnot. Combattue par Rumford, elle sera réfutée par Mayer puis Joule.

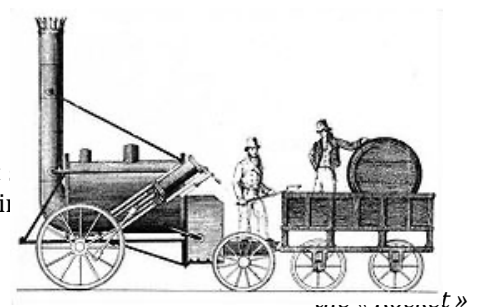
James Watt (1736-1819)

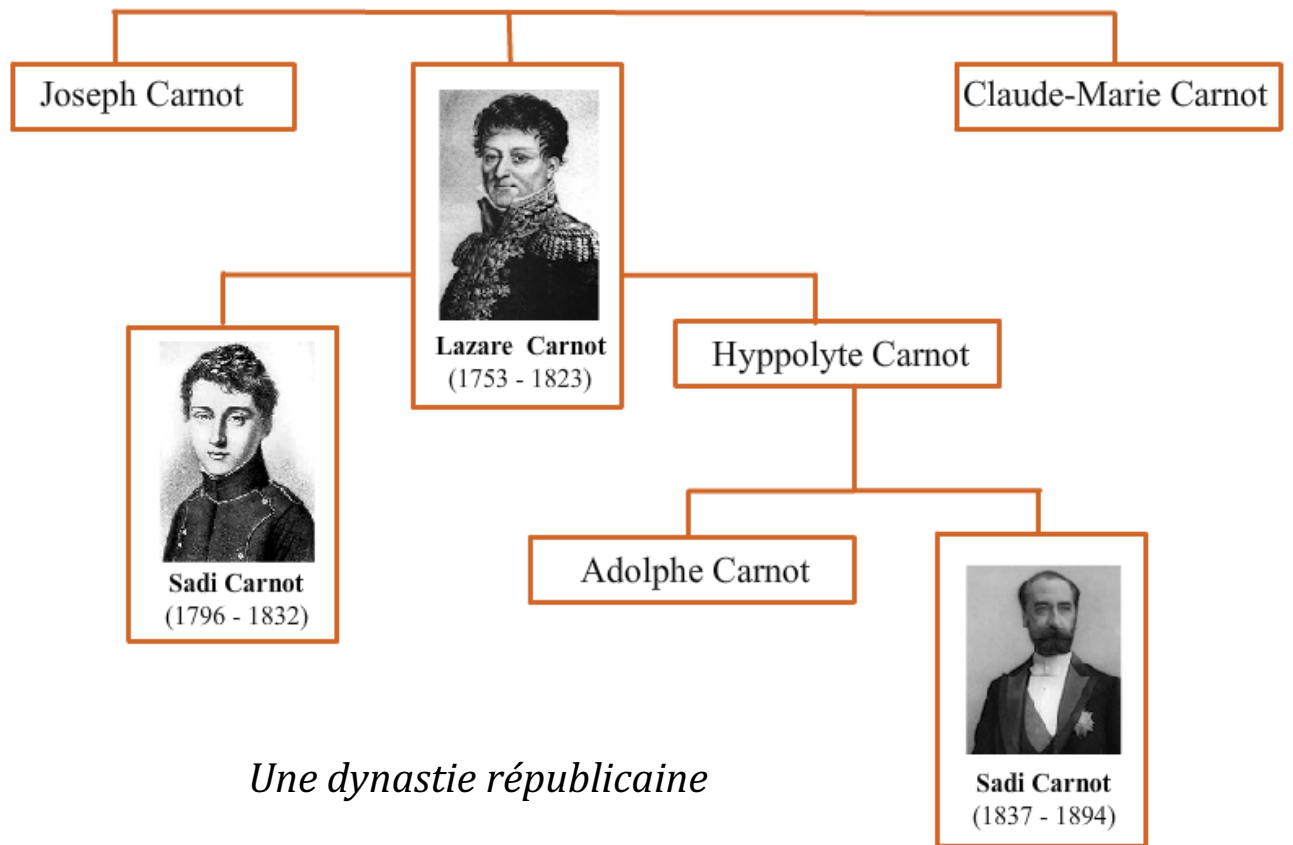
Ingénieur écossais dont les améliorations sur la machine à vapeur furent une étape déterminante dans la révolution industrielle. Il débute comme réparateur d'instruments à l'université de Glasgow où il rencontre Joseph Black. Celui-ci lui présente le savant et industriel John Roebuck qui financera ses premières machines. Il dépose de nombreux brevets qui freinent pour un temps la recherche.



George Stephenson (1781-1848)

Ingénieur anglais, fils d'ouvrier dans les mines de Wylam. Il met au point première locomotive en 1817. En 1825, elle relie Stockton à Darlington traînant un wagon rempli de musiciens. C'est le premier transport de voyageurs.





Une dynastie républicaine

Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance. Sadi Carnot (1824).



"Le phénomène de la production du mouvement par la chaleur n'a pas été considéré sous un point de vue assez général."

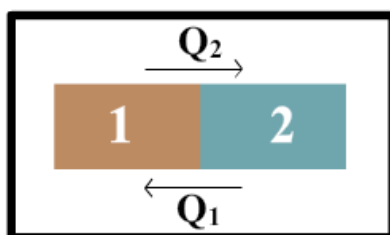
"La production de la puissance motrice est donc due, dans les machines à vapeur, non à une consommation réelle du calorique, mais à son transport d'un corps chaud à un corps froid [...]"

"La puissance motrice de la chaleur est indépendante des agens mis en œuvre pour la réaliser ; sa quantité est fixée uniquement par les températures des corps entre lesquels se fait en dernier résultat le transport de calorique."

"[...] le maximum de puissance motrice résultant de l'emploi de la vapeur est aussi le maximum de puissance motrice par quelque moyen que ce soit. [...] Quel est ici le sens du mot maximum ?"

"La chaleur n'est autre chose que la puissance motrice ou plutôt que le mouvement qui a changé de forme. C'est un mouvement dans les particules des corps, partout où il y a destruction de puissance motrice il y a en même temps production de chaleur. [...] Réciproquement, partout où il y a destruction de chaleur, il y a production de P.M. [...] D'après quelques idées que je me suis formées sur la théorie de la chaleur, la production d'une unité de puissance motrice nécessite la destruction de 2,70 unités de chaleur." (notes)

Le deuxième principe selon Clausius: **"La chaleur ne passe pas spontanément d'un corps froid sur un corps chaud "** (ce qui signifie $Q_2 > 0$ et donc $Q_1 < 0$ dans l'exemple ci-dessous).



$$Q_1 + Q_2 = 0$$

(système isolé)

$$T_1 - T_2 > 0$$

(1 plus chaud que 2)

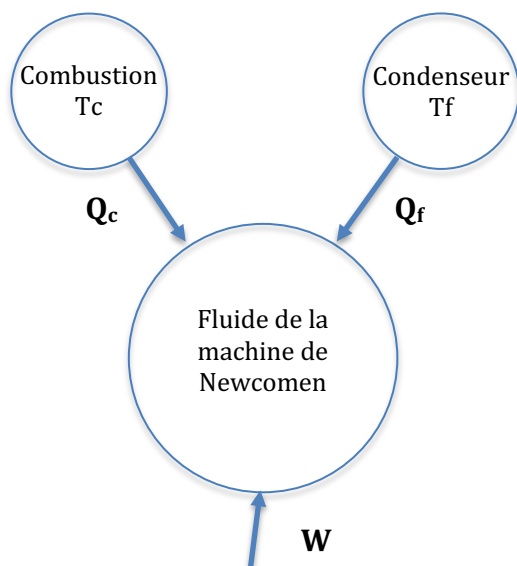
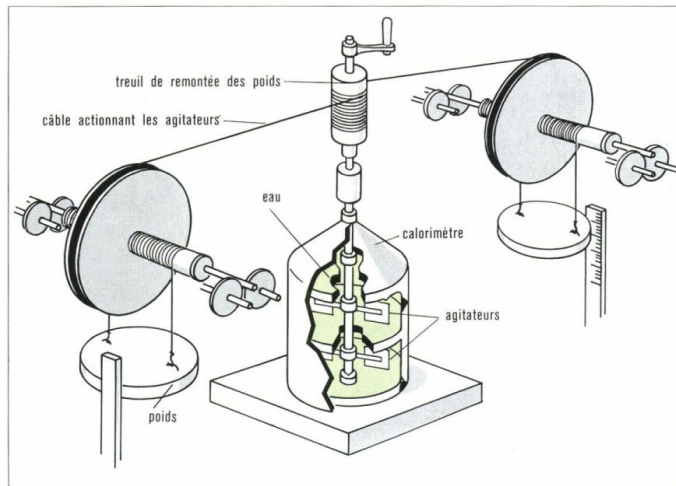
$$\Delta S_1 = Q_1 / T_1 \quad \longrightarrow \quad \Delta S = \Delta S_2 + \Delta S_1$$

$$\Delta S_2 = Q_2 / T_2 \quad \text{(variation globale d'entropie)}$$

$$\Delta S = Q_2 / T_2 + Q_1 / T_1 = Q_2 \times \frac{\text{positif}}{(1/T_2 - 1/T_1)} = Q_1 \times \frac{\text{négatif}}{(1/T_1 - 1/T_2)}$$

Puisque Q_2 est positif et Q_1 négatif, $\Delta S > 0$: **L'entropie ne peut qu'augmenter**

Schéma de l'expérience de Joule.



LA MACHINE DITHERME

Premier principe :

$$\Delta U = W + Q_c + Q_f$$

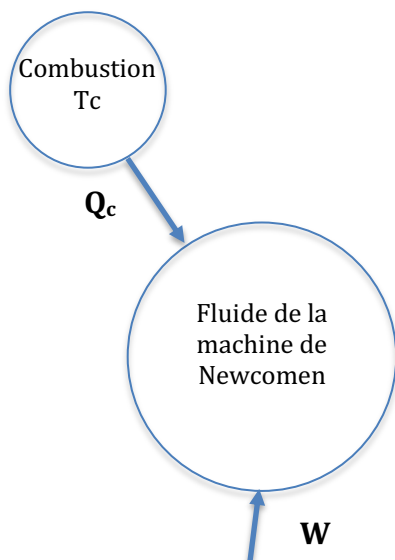
$$\leftrightarrow 0 = W + Q_c + Q_f \text{ sur un cycle.}$$

Deuxième principe :

$$\Delta S = S_{\text{échangée}} + S_{\text{créée}} \leftrightarrow 0 = \frac{Q_f}{T_f} + \frac{Q_c}{T_c} + S_{\text{créée}}$$

$$S_{\text{créée}} \geq 0 \text{ donc: } \frac{Q_f}{T_f} + \frac{Q_c}{T_c} \leq 0 \text{ (inégalité de Clausius)}$$

$$\eta_{\max} = \frac{-W}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$



LA MACHINE MONOTHERME

Premier principe :

$$\Delta U = W + Q_c$$

$$\leftrightarrow 0 = W + Q_c \text{ sur un cycle donc } \leftrightarrow W = -Q_c \text{ sur un cycle.}$$

Deuxième principe :

$$\Delta S = S_{\text{échangée}} + S_{\text{créée}} \leftrightarrow 0 = \frac{Q_c}{T_c} + S_{\text{créée}}$$

$$S_{\text{créée}} \geq 0 \text{ donc: } \frac{Q_c}{T_c} \leq 0 \text{ (inégalité de Clausius)}$$

$$Q_c \leq 0 \text{ donc: } W \geq 0$$

Le cycle ne peut pas être moteur.

Sadi Carnot (1796-1832)



Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance (1824)

Emile Clapeyron (1799-1864)

Il tire de l'oubli les travaux de Carnot en 1834. Travaux théoriques en thermodynamique, et techniques dans le domaine ferroviaire.



Julius Von Mayer (1814-1878)

Médecin et physicien allemand. Il établit en 1842 (avant Joule) l'équivalence chaleur travail, mais ne fait pas connaître ses travaux. Il s'est surtout occupé des aspects physiologiques de l'énergie ainsi que de géophysique.



James Joule (1818-1889)

Physicien anglais. Ses travaux portent tout d'abord sur la chaleur dégagée par un courant électrique (l'effet Joule en 1841), puis il mit en évidence l'équivalence chaleur - travail (1845), mettant fin au calorique.



Rudolf Clausius (1822-1888)

Physicien prussien. Il réalise en 1850 la synthèse des travaux de Carnot et de Joule. Il crée la grandeur qu'il appelle entropie en 1854 et propose l'ébauche d'une théorie cinétique des gaz mise en œuvre plus tard par Boltzmann.



W. Thomson - Lord Kelvin (1824-1907)

Physicien anglais, amené à la thermodynamique par Joule, il propose l'échelle absolue de température en 1848, et se rallie en 1851 à la synthèse de Clausius. Travaux ultérieurs en télégraphie et navigation.



Ludwig Boltzmann (1844-1906)

Fondateur de la théorie cinétique des gaz, il établit les expressions statistiques et microscopiques de la température, la chaleur et l'énergie. Les énergétistes s'opposent violemment à lui. Il se donne la mort en 1906.

L'ÉPITAPHE DE BOLTZMANN

Calcul du nombre de micro-états :

$$C_n^p = \frac{n!}{p!(n-p)!}.$$

Définition de la température :

$$T = \frac{A}{\ln \left(\frac{\text{fondamental}}{\text{excités}} \right)}$$

Programme de calcul avec Python :

```
1  import math
2
3  M1=100
4  M2=1500
5  N1 = int(input("atomes excités dans le monde 1: "))
6  N2 = int(input("atomes excités dans le monde 2: "))
7
8  combinaisons1 = math.factorial(M1) // (math.factorial(N1) * math.factorial(M1 - N1))
9  combinaisons2 = math.factorial(M2) // (math.factorial(N2) * math.factorial(M2 - N2))
10
11 S1=math.log(combinaisons1)
12 S2=math.log(combinaisons2)
13
14 T1=1/(math.log((M1-N1)/N1))
15 T2=1/(math.log((M2-N2)/N2))
16
17 print()
18 print("Nombre de combinaisons dans le monde 1:", combinaisons1)
19 print("Nombre de combinaisons dans le monde 2:", combinaisons2)
20 print()
21 print("Entropie du monde 1:",S1)
22 print("Entropie du monde 2:",S2)
23 print("Entropie globale:",S1+S2)
24 print()
25 print("T1",T1)
26 print("T2",T2)
```

<https://www.fredpeuriere.com>

Bibliographie :

Carnot et la machine à vapeur (PUF - 1986) : Jean Pierre MAURY
 Les merveilles de la science : Luis Figuier (1867)
 Chaleur et désordre (Peter William Atkins (Belin - 1999)
 Textes originaux : <http://gallica.bnf.fr/>