



Mystères au cœur de l'Univers et de la matière

Energie, l'émergence d'un concept

Joël Pouthas

pouthas@lpccaen.in2p3.fr

Qu'est ce que l'énergie ? (en physique)

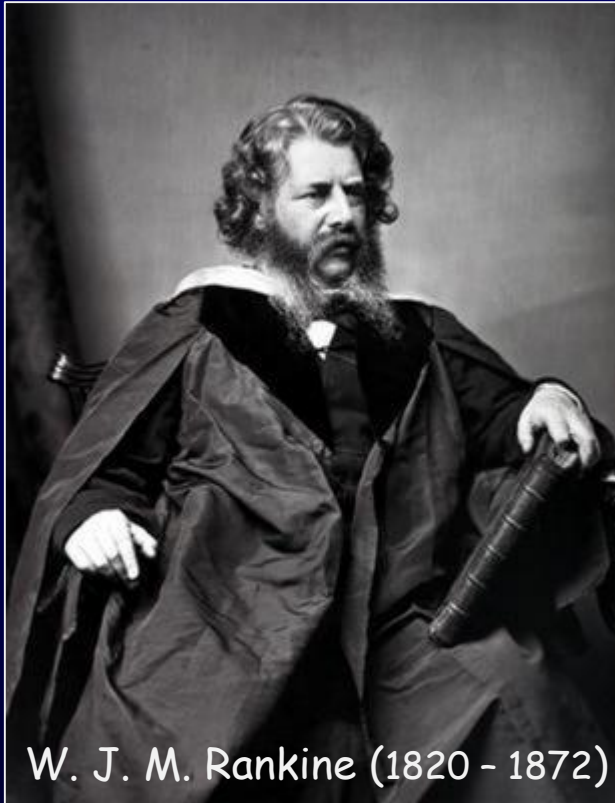


Lectures
on
Physics

Summer Science Program 1960

Richard
Feynman
(1918 - 1988)

Origine en physique (Philosophie naturelle)



W. J. M. Rankine (1820 - 1872)

Outlines of the Science of Energetics

Read before the Philosophical Society of Glasgow on May 2, 1855

On the phrase "Potential Energy", and on the Definitions of Physical Quantities

Read before the Philosophical Society of Glasgow on January 23, 1867

7. About the beginning of the present century, [★]the word "energy" had been substituted by Dr. Thomas Young for "vis viva," to denote the capacity for performing work due to velocity; and the application of the same word had at a more recent time been extended by Sir William Thomson to capacity of any sort for performing work. There can be no doubt that the word "energy" is specially suited for that purpose; for not only does the meaning to be expressed harmonise perfectly with the etymology of ἐνέργεια, but the word "energy" has never been used in precise scientific writings in a different sense; and thus the risk of ambiguity is avoided.

★1807

Miscellaneous Scientific Papers by W. J. Macquorn Rankine
London, Charles Griffin and Company, 1881

Energie. Dictionnaire de l'Académie

LE
DICTIONNAIRE
DE
L'ACADÉMIE
FRANÇOISE.
DEDIÉ AU ROI.
TOME PREMIER.
A—L



A PARIS,
Chez la Veuve de JEAN BAPTISTE COIGNARD, Imprimeur ordinaire du Roy,
& de l'Académie Française, rue S. Jacques, à la Bible d'Or:
ET
Chez JEAN BAPTISTE COIGNARD, Imprimeur & Libraire ordinaire
du Roy, & de l'Académie Française, rue S. Jacques, près S. Severin, au Livre d'Or.
M. DC. LXXXIV.
AVEC PRIVILEGE DE SA MAJESTE'.

1694

E N E

ÉNERGIE. f. f. Efficace, vertu, force. Il se dit principalement du discours, de la parole. *L'Écriture sainte a une grande énergie. il fit un discours plein d'énergie.*

ÉNERGIQUE. adj. de tout genre. Qui a de l'énergie. *Style énergique. discours énergique. ce mot est fort énergique.*

ÉNERGUMÈNE. f. de tout genre. Possédé du diable. *Exorciser un Energumène.*

1835

ENE

ÉNERGIE. s. f. Force, vertu, puissance agissante. *L'énergie d'un remède. L'énergie des passions.*

Il se dit particulièrement de La vigueur d'âme. *C'est un vieillard encore plein d'énergie. Doué d'énergie. Une âme, un caractère sans énergie.*

Il s'applique, dans un sens analogue, Au discours, à la parole. *S'exprimer avec énergie. Il y a dans les prophètes des expressions d'une grande énergie. Il fit un discours plein d'énergie. Parole pleine d'énergie.*

Il se dit également de La fermeté qu'on fait paraître dans les actes de la vie publique ou privée. *Un ministre plein d'énergie. Il se comporte avec beaucoup d'énergie. Il a déconcerté ce complot par l'énergie de ses mesures. Montrer, déployer de l'énergie.*

ÉNERGIQUE. adj. des deux genres. Qui a de l'énergie. *Remède énergique. Âme énergique. Style énergique. Discours énergique. Ce mot est fort énergique. Termes énergiques. Une conduite énergique. Des mesures énergiques.*

ÉNERGIQUEMENT. adv. D'une manière énergique. *Il lui parla énergiquement. Il s'exprime énergiquement.*

ÉNERGUMÈNE. s. des deux genres. T. de

INSTITUT DE FRANCE
DICTIONNAIRE
DE
L'ACADÉMIE FRANÇAISE
SIXIÈME ÉDITION
Publiée en 1835.
TOME PREMIER.

Abgegeben v. d.
Bibliothek d.
Auswärtigen Amts.



IMPRIMERIE ET LIBRAIRIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES,
Imprimeurs de l'Institut de France.
1835.

Numérisé par Google

Energie - Origine en Physique (Philosophie naturelle)

Origine grecque : ἐνέργεια (energeia)

Introduction tardive du mot "Energie" en Physique
(Dix-neuvième siècle)

... mais

Notion de "force vive" (vis viva) déjà utilisée en Mécanique

" Capacity of performing work "

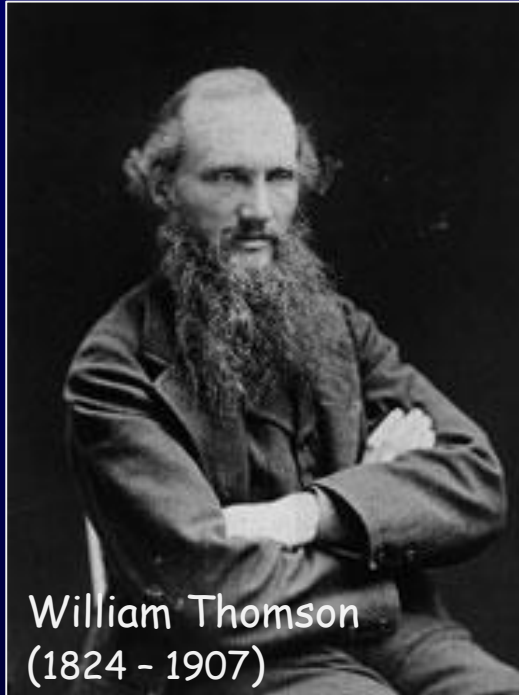
Machines à vapeur
(Développement au dix-huitième siècle)

Milieu du dix-neuvième siècle

Développement de la "Thermodynamique"

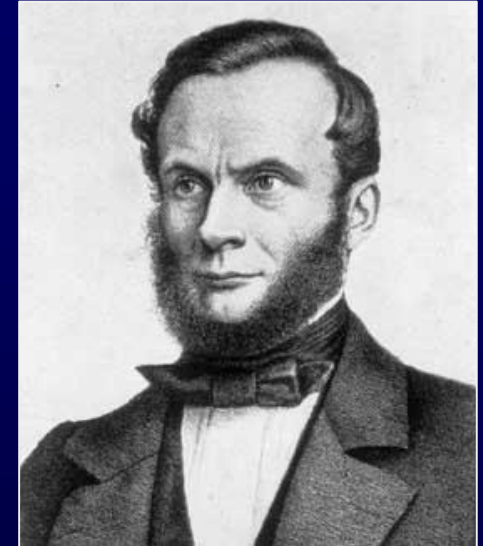
Relations entre "chaleur" et "travail"

Thermodynamique



Milieu
Dix neuvième
Siècle

Relations
entre
"Chaleur" et "Travail"

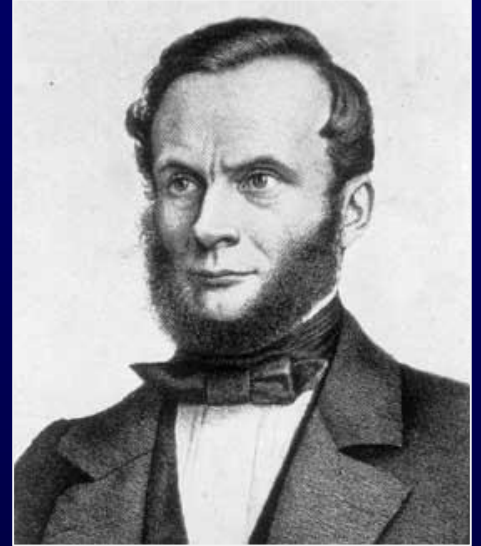


Rudolf Clausius
(1822 - 1888)

Thermodynamique - Clausius

1850

Sur la force motrice de la chaleur
et les lois qui s'en déduisent pour
la théorie même de la chaleur *



- I. Conséquences du principe de l'équivalence de la chaleur et du travail
- II. Conséquences du principe de Carnot combiné avec le précédent

*Ueber die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Warmelehre selbst ableiten lassen
(Annalen der Physik und Chemie)

Equivalence de la chaleur et du travail

Plusieurs acteurs dans les années 1840
"Travail" "Force" "Puissance" "Energie"

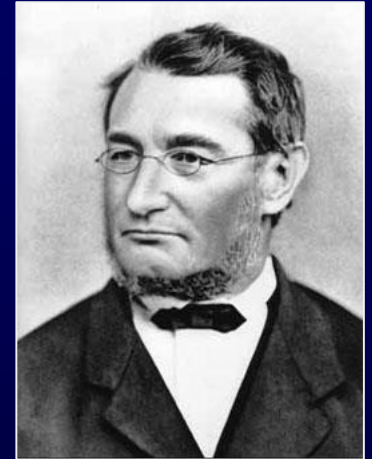
Julius Robert von Mayer (1814 - 1878)

Médecin allemand, intéressé par la "physique"

Voyage sur des bateaux comme médecin. Idée de l'équivalence de la chaleur et du travail (1840)

Difficultés de publication (1841 - 1848)

Pas d'expériences personnelles mais utilisation de résultats connus



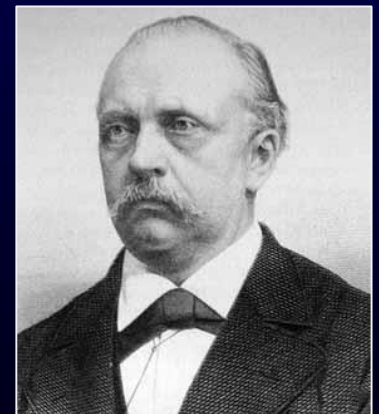
Hermann von Helmholtz (1821 - 1894)

Physiologiste allemand et physicien

Sur la conservation de la force (1847)

Über die Erhaltung der Kraft

Formulation du concept de "Conservation (Erhaltung)" dans le cadre de la mécanique



Equivalence de la chaleur et du travail

Plusieurs acteurs dans les années 1840
"Travail" "Force" "Puissance" "Energie"

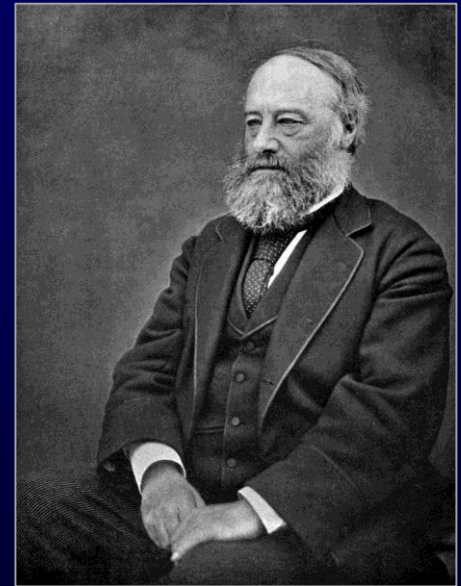
James Prescott Joule (1818 - 1889)

Brasseur anglais à Manchester... et physicien

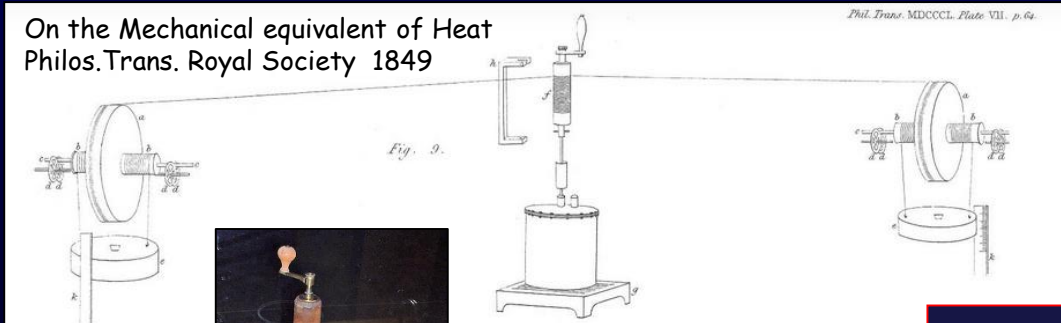
Intérêt pour l'électricité (Chaleur et courant $\Rightarrow$ Loi de Joule)

Sur l'équivalent mécanique de la chaleur (1845 et 1847)

(Reports of the British Association for the advancement of Science)



On the Mechanical equivalent of Heat
Philos.Trans. Royal Society 1849



Dispositif
Science Museum, London



Aujourd'hui

Le joule (J) est l'unité d' Energie

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$$

Principe de Carnot ?

Sadi Carnot
(1796 - 1832)



Principe de Carnot ?

1824

RÉFLEXIONS
SUR LA
PUISSANCE MOTRICE
DU FEU
ET
SUR LES MACHINES
PROPRES A DÉVELOPPER CETTE PUISSANCE.

PAR S. CARNOT,
ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE.

A PARIS,
CHEZ BACHELIER, LIBRAIRE,
QUAI DES AUGUSTINS, N°. 55.
1824.



Principe de Carnot ?

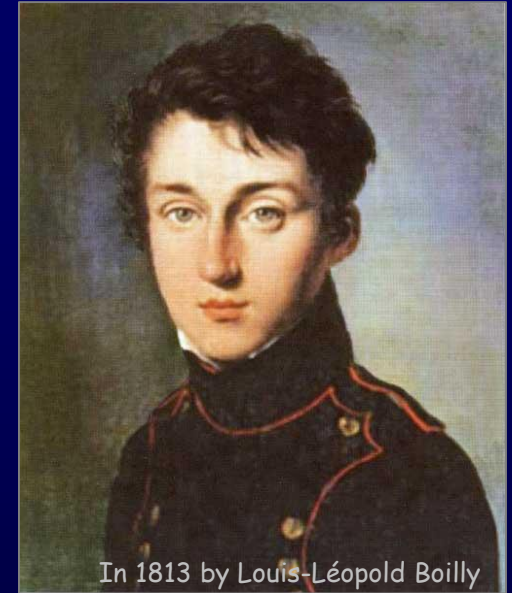
1824

RÉFLEXIONS
SUR LA
PUISSANCE MOTRICE
DU FEU.

PERSONNE n'ignore que la chaleur peut être la cause du mouvement, qu'elle possède même une grande puissance motrice: les machines à vapeur, aujourd'hui si répandues, en sont une preuve parlante à tous les yeux.

C'est à la chaleur que doivent être attribués les grands mouvemens qui frappent nos regards sur la terre; c'est à elle que sont dues les agitations de l'atmosphère, l'ascension des nuages, la chute des pluies et des autres météores, les courans d'eau qui sillonnent la surface du globe et dont l'homme est parvenu à employer pour son usage une faible partie; enfin les tremblemens de terre, les éruptions volcaniques, reconnaissent aussi pour cause la chaleur.

C'est dans cet immense réservoir que nous pouvons puiser la force mouvante nécessaire à



In 1813 by Louis-Léopold Boilly

(2)

nos besoins; la nature, en nous offrant de toutes parts le combustible, nous a donné la faculté de faire naître en tous temps et en tous lieux la chaleur et la puissance motrice qui en est la suite. Développer cette puissance, l'approprier à notre usage, tel est l'objet des machines à feu.

Machine à vapeur - Origines

Condensation de la vapeur -> Production d'un vide partiel dans un récipient

~ 1690 Piston dans un cylindre : Denis Papin (1647 - 1712)

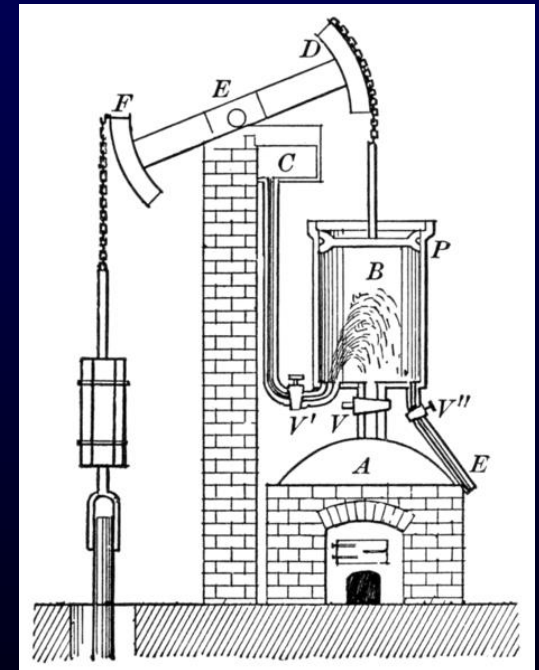
1698 "Machine à feu" de Thomas Savery (1650 - 1715)
Pompage de l'eau dans les mines (quelques exemplaires)

1712 Machine de Thomas Newcomen (1664 - 1729)
Pompage de l'eau (Licence de Savery)

~ 75 machines en 1730

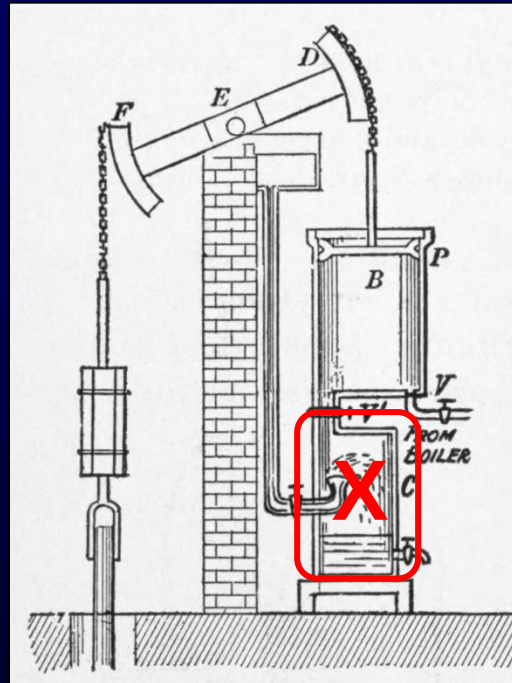
Machine "atmosphérique", "à condensation"

La "puissance motrice"
est la
Pression atmosphérique

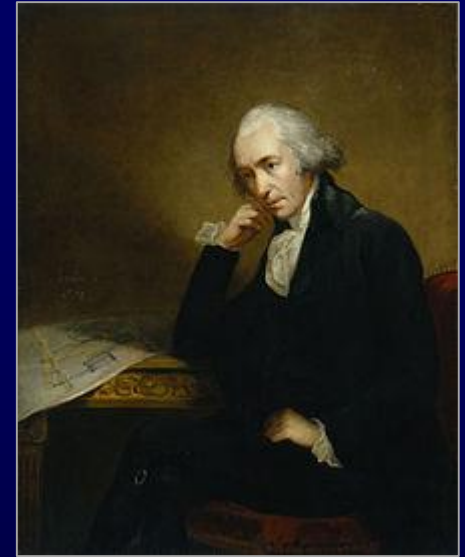


Machine à vapeur - Watt

Watt étudie la machine de Newcomen
(Modèle réduit, économie)
-> 1765 Introduction du **Condenseur**



Immersion du condenseur
dans l'eau froide



James Watt (1736 - 1819)

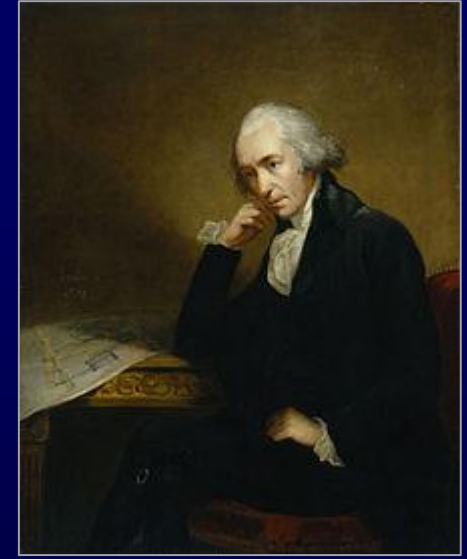
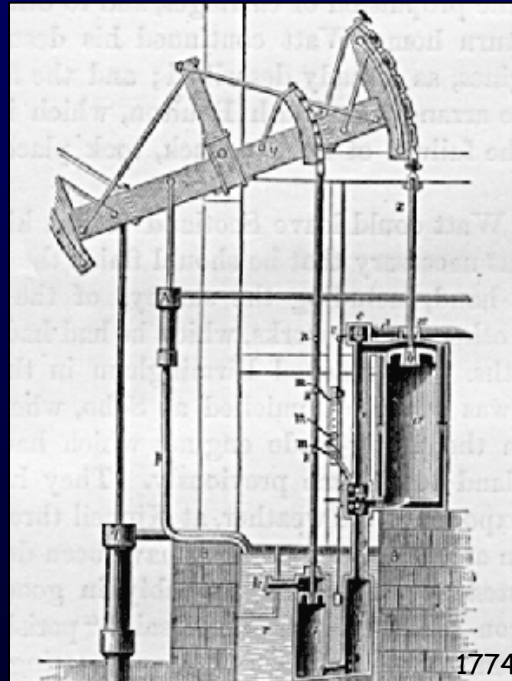
Machine à vapeur - Watt



Matthew Boulton (1728 - 1809)

Industriel

Autres améliorations :
Fermeture complète du cylindre
et double injection de la vapeur
Etc....

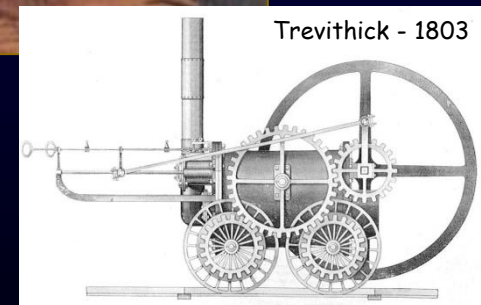
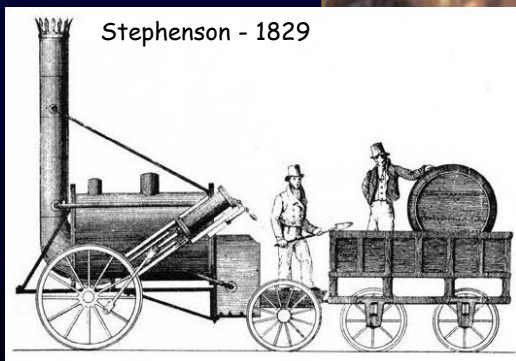
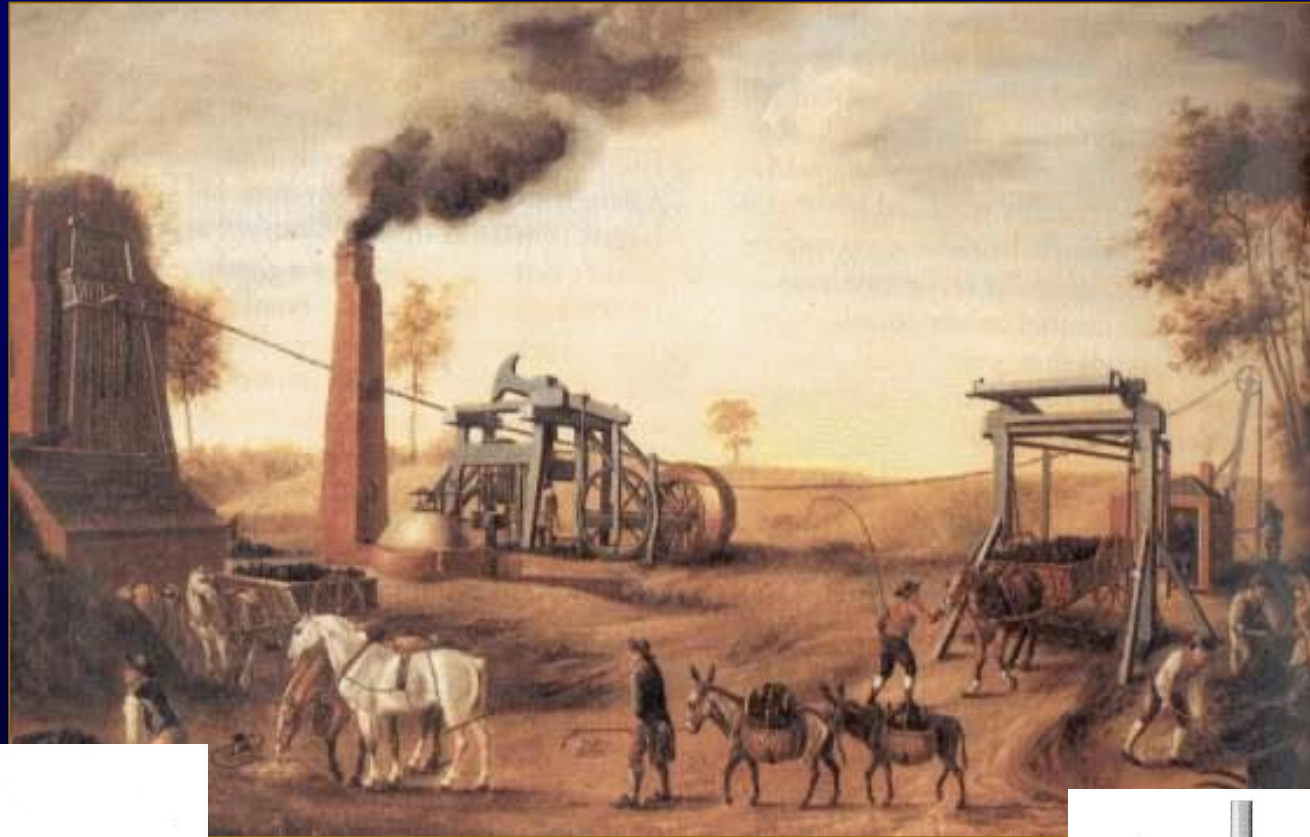


James Watt (1736 - 1819)

Ingénieur

Dernier quart du 18^{ième} siècle

Machine à vapeur - Utilisation



Révolution industrielle



Ebley Cloth Mills, Gloucestershire

c.1850

Peinture de Alfred Newland Smith

Révolution industrielle



Le Creusot (France)

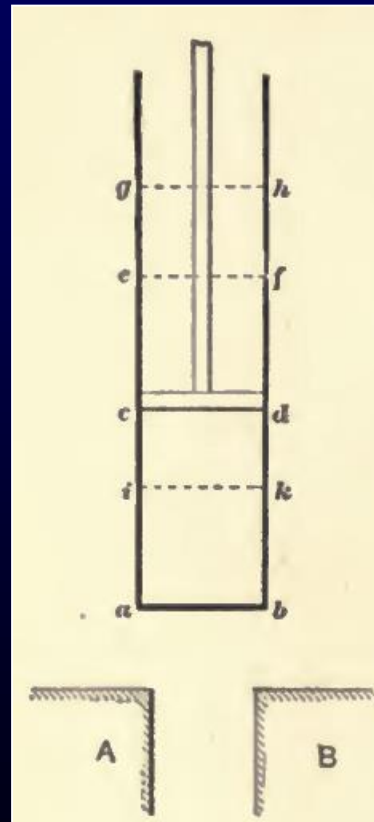
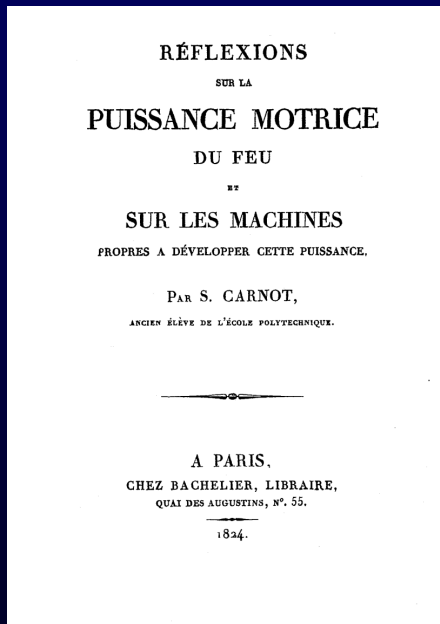
1847

Lithographie d'après une aquarelle de Trémaux

"Cycle de Carnot"

1824 S. Carnot

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



"Cycle de Carnot"

1824 S. Carnot

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

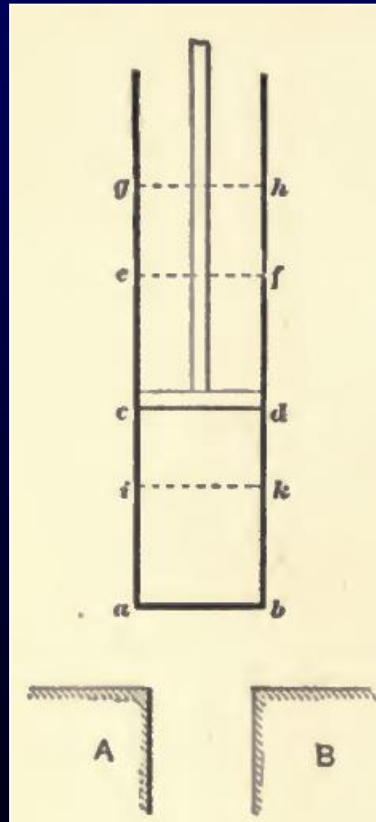
1834 E. Clapeyron

Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur

Journal de L'Ecole Polytechnique



Emile Clapeyron (1799 - 1864)

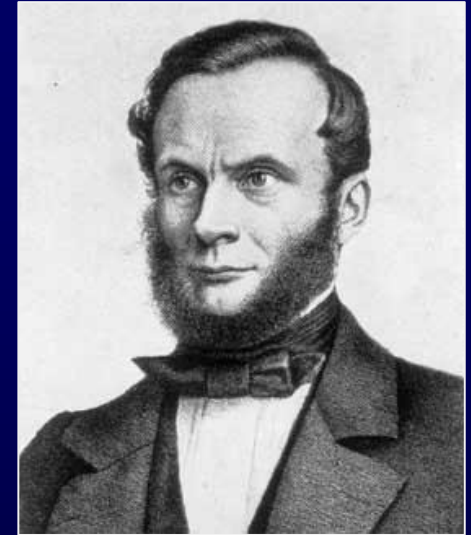


Héritage des travaux de Carnot

1824	S. Carnot	Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance (Français)
1834	E. Clapeyron	Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur Traductions Anglais 1837 Allemand 1843
1850	R. Clausius	Sur la force motrice de la chaleur et les lois qui s'en déduisent par la théorie de la chaleur (Allemand)
1848	W. Thomson	Sur une échelle thermométrique absolue fondée sur la théorie de Carnot de la puissance motrice de la chaleur, et calculée à partir des observations de Regnault (Anglais)
1849	W. Thomson	Un exposé de la théorie de Carnot sur la puissance motrice de la chaleur avec des résultats déduits des expériences de Regnault sur la vapeur (Anglais)

Thermodynamique - Clausius

- 1850 Sur la force motrice de la chaleur et les lois qui s'en déduisent par la théorie de la chaleur
- 1854 Sur une autre forme du second principe de la théorie mécanique de la chaleur
- 1865 Sur diverses formes des équations fondamentales de la théorie mécanique de la chaleur qui sont commodes dans l'application



"Equivalence des transformations" $\int dQ/T = S - S_0$

"Je préfère emprunter aux langues anciennes les noms de quantités scientifiques importantes, afin qu'ils puissent rester les mêmes dans toutes les langues vivantes. Je proposerai donc d'appeler la quantité **S l'entropie du corps**, d'après le mot grec **τροπή transformation**."

"C'est à dessein que j'ai formé ce mot entropie, de manière qu'il se rapproche autant que possible du mot énergie ; car ces deux quantités ont une telle analogie dans leur signification physique qu'une certaine analogie de dénomination m'a paru utile."

Thermodynamique - Deux principes !

La thermodynamique repose sur deux principes :

- 1°) Le principe de la conservation de l'énergie dont un cas particulier, le plus intéressant au point de vue qui nous occupe, est le principe de l'équivalence de la chaleur appelé aussi principe de Mayer
- 2°) Le principe de la dissipation de l'entropie, plus souvent nommé principe de Carnot ou principe de Clausius

H. Poincaré, Thermodynamique (Rédaction de J. Blondin), 1892

Puissance motrice -> Energie "utilisable"

"Dégradation de l'énergie"

Chaleur -> "Forme dégradée" de l'énergie

Conservation de l'énergie

En quantité ... mais pas en qualité !

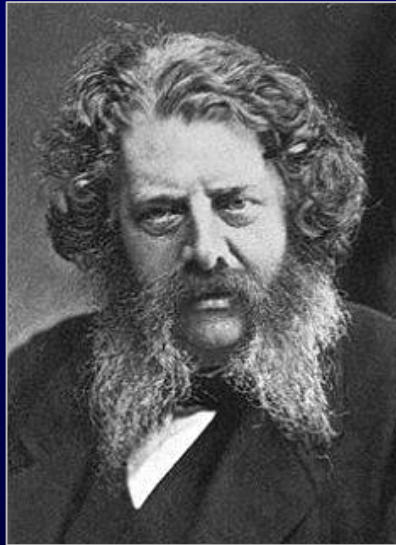
Conservation et dégradation de l'énergie

Energetik



Wilhelm Ostwald
(1853 - 1932)

Science of Energetics



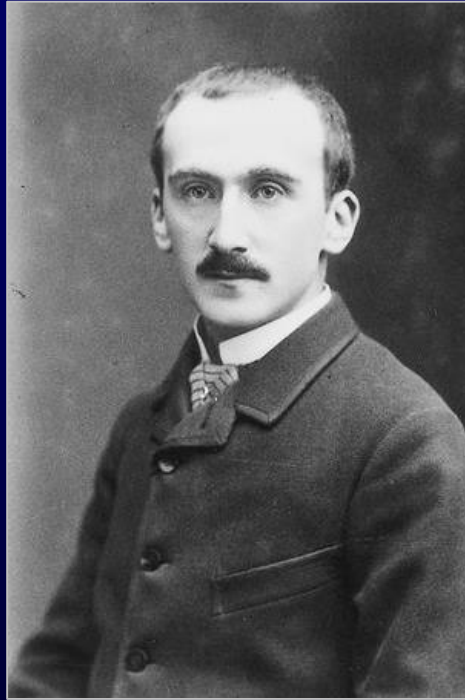
William Rankine
(1820 - 1872)

Energétisme



Pierre Duhem
(1861 - 1916)

Thermodynamique - Second principe



Henri Bergson - L'évolution créatrice - 1907