

L'ŒUVRE DE CARNOT, DES ENERGIES AUX ENTROPIES

Par M. FEIDT, professeur émérite de l'Université de Lorraine

Académie Lorraine des Sciences, 11 décembre 2024

PLAN

- I. Carnot, sa vie, son œuvre
- II. De l'énergie aux énergies
- III. De l'entropie aux entropies
- IV. La machine motrice de Carnot et ses variantes
- V. En guise de conclusion et perspectives

I. Carnot, sa vie, son œuvre

I.1. La vie et l'opuscule de S. CARNOT

- S. CARNOT, un opuscule de 120 pages « Réflexions sur la puissance motrice du feu » (1824)
- S. CARNOT, le père de la thermodynamique



*Nicolas Léonard Sadi Carnot
(1796-1838)*

I. Carnot, sa vie, son œuvre

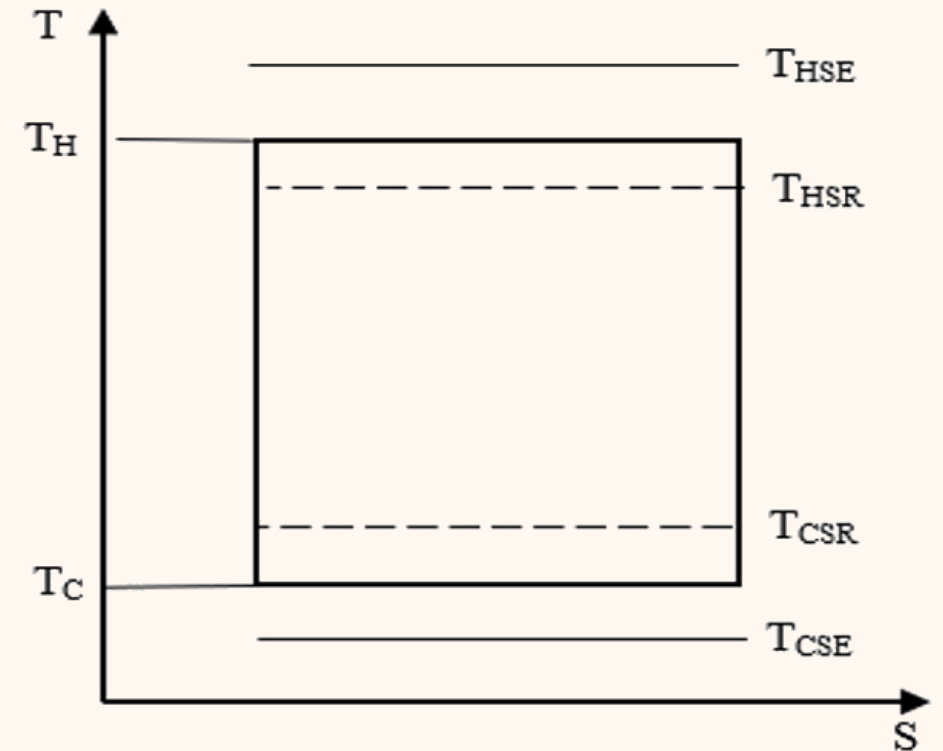
I.2. Les principaux apports de Carnot

- Chaleur et énergie mécanique (expérience de Joule)
- Chaleur et température (chaud et froid)
- La limite thermostatique (thermodynamique d'équilibre)

I. Carnot, sa vie, son œuvre

I.3. Carnot, une rupture

- Expérience de pensée : cycle de Carnot
- Rendement thermomécanique
- Rendement de Carnot : $\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{CS}}{T_{HS}}$



*Cycle de Carnot réversible avec
 thermostats source et puits*

II. De l'énergie aux énergies

II.1. Formes de l'énergie

Forme d'énergie	Mécanique	Electrique	Magnétique	Radiative	Chimique	Nucléaire	Calorifique
Mécanique		Mécano-électrique					Mécanothermique
Electrique	Electro-mécanique		Electro-magnétique	Electrothermie	Electrochimique	Electronucléaire	Electrothermie
Magnétique	Magnéto-mécanique	Magnéto-électrique					Magnétothermie
Radiative		Photo-voltaïque			Photosynthèse		
Chimique		Electro-chimique					Thermochimie
Nucléaire		Electro-nucléaire		Physique nucléaire			Thermonucléaire
Calorifique	Thermo-mécanique	Thermo-électrique	Thermo-magnétique	Thermocinétique : rayonnement	Thermochimie		

Tableau 1.1. *Matrice des énergies*

II. De l'énergie aux énergies

II.2. Transfert et conversion de l'énergie

$$\delta W = -P dV$$

$$\delta W = -H dM$$

$$\delta W = V dq$$

$$\delta Q = T dS$$

II.3. Intensité, extensité

$$\delta W = X dY$$

X : variable intensive, quantité qualitative

Y : variable extensive, quantité quantitative

II. De l'énergie aux énergies

II.4. Principe de conservation

- De l'énergie : réserve d'énergie
- De la matière : flux d'énergie

II.5. Energétique (P. DUHEM)

III. De l'entropie aux entropies

III.1. Clapeyron et Clausius

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \text{ avec } T \text{ la température absolue}$$

III.2. Prigogine

$$dS = \delta S_e + \delta S_i$$

III. De l'entropie aux entropies

III.3. Ebauches et dernières tendances

- Maximum d'entropie S
- Minimum de lux de production d'entropie $S_i^0 = \frac{\partial S_i}{\partial t}$
- Forme linéarisée (ONSAGER)

III. De l'entropie aux entropies

III.4. Le foisonnement entropique

- L'entropie Statistique (Maxwell, Boltzmann)
- L'entropie informationnelle (Shannon, Brillouin)
- Autres approches : entropie quantique entropie d'échelle (D. Queiros-Conde)

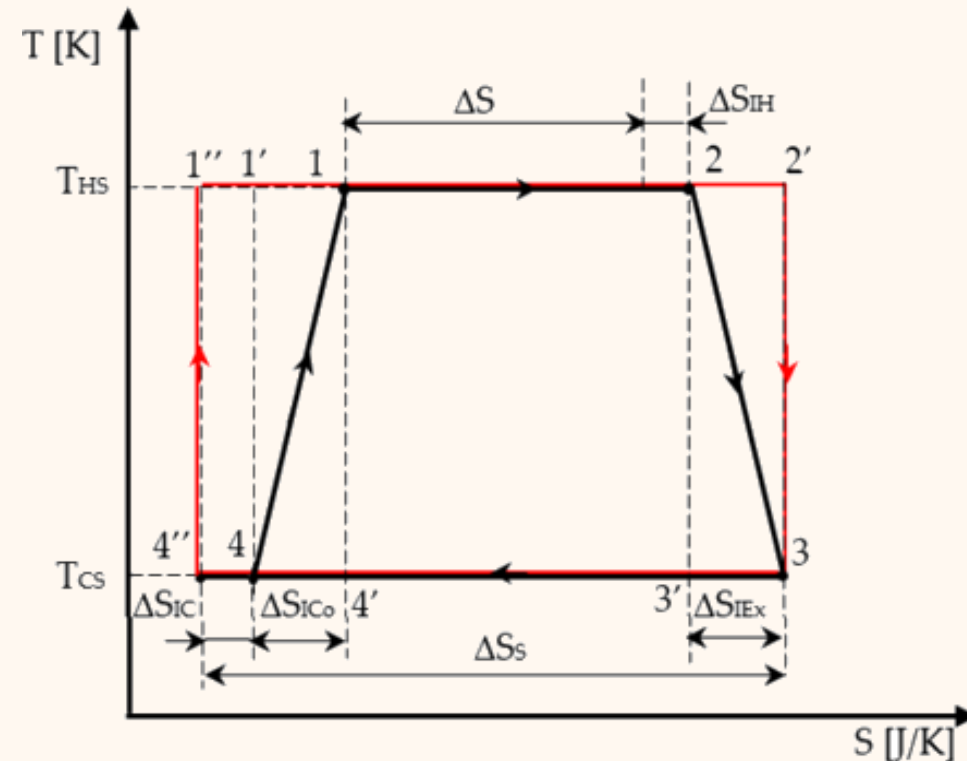
IV. La machine motrice de Carnot et ses variantes

IV.1. Nouveau regard sur la thermodynamique phénoménologique

IV.1.1. Le moteur de Carnot

IV.1.2. Le rendement de Carnot

$$\eta_{IH} = \eta_C \left(1 - \frac{\Delta S_{IH}}{\Delta S_{HS}} \right) - \frac{T_{CS}}{T_{HS}} \cdot \frac{\Delta S_I}{\Delta S_{HS}}$$



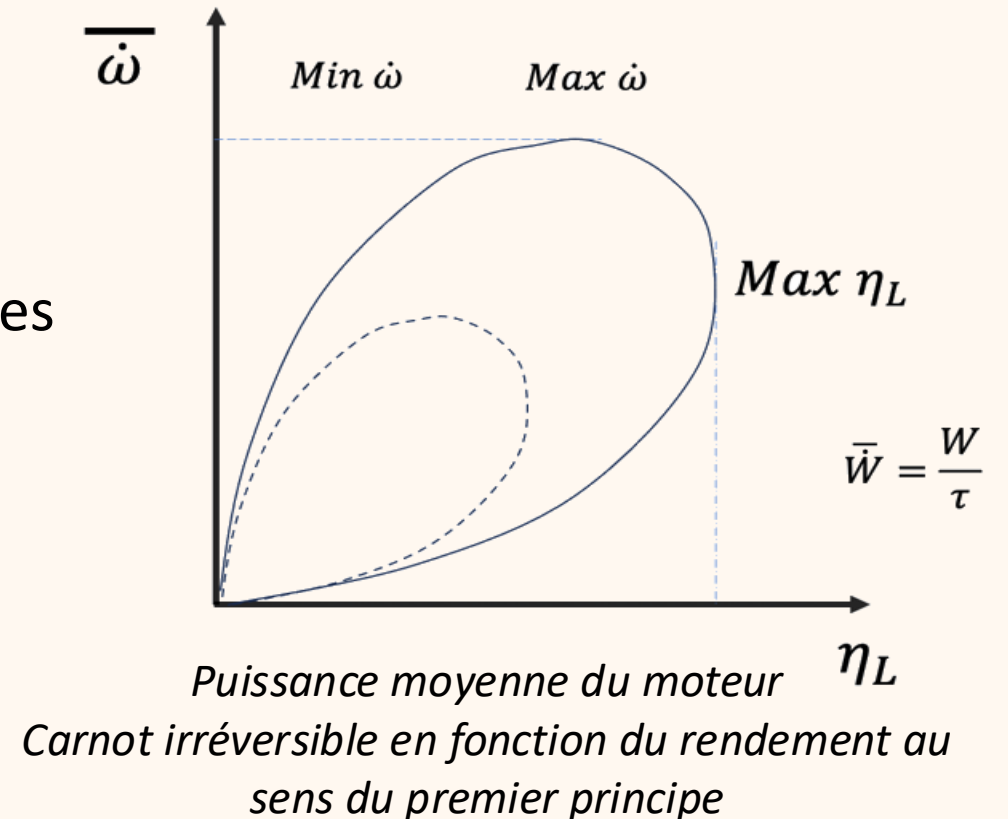
Cycle de Carnot idéal (rouge) et cycle endo-irréversible réel (noir)

IV. La machine motrice de Carnot et ses variantes

IV.1. Nouveau regard sur la thermodynamique phénoménologique

IV.1.3. Des prolongements

- Optimisation en énergie, en puissance
- Thermodynamique en dimensions physiques finies (FDOT) : fréquence optimale
- Courbes en boucle



IV. La machine motrice de Carnot et ses variantes

IV.1. Nouveau regard sur la thermodynamique phénoménologique

IV.1.3. Des prolongements plus fondamentaux – Méthodologie et concepts

- Production d'entropie ou dégradation d'énergie
- Optimisation contrainte (énergie, environnement, économie)

IV. La machine motrice de Carnot et ses variantes

IV.1. Nouveau regard sur la thermodynamique phénoménologique

IV.1.3. Des prolongements plus fondamentaux – Relation aux principes

- Encadrements de solutions
- Relation à l'action de Maupertuis
- Principe de finitude (conjecture)
- Principe d'incertitude (fluctuations)
- Principe d'équipartition

IV. La machine motrice de Carnot et ses variantes

IV.2. Relations aux autres branches de la thermodynamique

- Thermodynamique relativiste (L. de Broglie)
- Thermodynamique quantique
- Dirac, Planck, Heisenberg : petites échelles de Planck incertitude d'Heisenberg

IV. La machine motrice de Carnot et ses variantes

IV.3. Diverses échelles d'applications

- Particules élémentaires (moteurs quantiques)
- Grandes échelles : étoiles, trous noirs, amas, univers, entropie d'échelle
(avec D. Queiros-Conde)

IV. La machine motrice de Carnot et ses variantes

IV.4. Ouverture à de nouveaux domaines : du climat au cosmos

IV.4.1. Les grandes structures et l'entropie : un exemple

- Entropie des trous noirs (S. Hawking, J. Bekenstein)

$$S_{BH} = \frac{k_B A c^3}{4kG} = \frac{kA}{4l_p}$$

A, aire de l'horizon du trou noir

- La gravité quantique (L. Smolin), sa relation au temps

IV. La machine motrice de Carnot et ses variantes

IV.4. Ouverture à de nouveaux domaines : du climat au cosmos

IV.4.2. Le monde du vivant différent du monde minéral

- SCHRODINGER : qu'est-ce que la vie - plantes ; animaux ; humain
- Relation : à la flèche du temps
à l'information (ADN, ARN)



IV. La machine motrice de Carnot et ses variantes

IV.4. Ouverture à de nouveaux domaines : du climat au cosmos

IV.4.3. Economie -Ecologie – Sociétés

- Pas d'équilibre, pas de conservation
- Existence d'un compromis investissement-fonctionnement en relation avec le concept d'efficacité

$$c_G = c_F + c_I \quad ; \quad c_F = \frac{k_F}{1-z} \quad ; \quad c_I = k_I \cdot z$$



IV. La machine motrice de Carnot et ses variantes

IV.5. L'entropie thermodynamique et l'information

Transfert d'information

- création (invention d'information)

$$1bit = K \ln(2) = 0,95697 \times 10^{-23} j/k$$

- L'entropie augmente ; l'information diminue

V. Quelques conclusions et perspectives

- Un univers minéral en expansion tout en étant limité
- Un univers limité par la connaissance (information)
- Une évolution constante (l'équilibre n'existe pas) : une marche forcée, toute action, transformation est irréversible par essence (flèche du temps) : transitoire permanent : $\text{MAX } \dot{S}$, mais contraint, le big bang est un point d'entropie zéro

Merci pour votre attention
Toute question est bienvenue

*« Il n'est pas besoin d'espérer pour
entreprendre ni de réussir pour persévérer »*
selon M. Pagnol