

1ère partie  
Production  
de la vapeur

2ème partie  
Utilisation  
de la vapeur

3ème partie  
Production  
de glace

4ème partie  
Memento  
Technologique

**5ème partie  
vers d'autres  
horizons**



## 5ème Partie "Vers d'autres horizons"

La 5ème partie de la documentation de soleil-vapeur.org regroupe diverses rubriques relatives à l'énergie solaire



Accédez à la  
documentation  
complète de

[www.soleil-vapeur.org](http://www.soleil-vapeur.org)

# LE RENDEMENT DE CARNOT

- à tout seigneur tout honneur.

Sadi Carnot (1796-1832) portait son attention sur le rendement particulièrement faible des machines à vapeur de son époque, et il en arriva à la conclusion suivante, consignée dans son ouvrage de 1824 "Réflexions sur la puissance motrice du feu" : lorsqu'une machine transforme la chaleur en énergie mécanique, la fraction maximale d'énergie mécanique que l'on peut obtenir est d'autant plus importante que la différence entre la source chaude et la source froide est élevée.

Le rendement théorique maximum s'exprime ainsi

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

$T_f$  est la température de la source froide,  $T_c$  est la température de la source chaude, exprimées en degrés Kelvin ( c'est à dire en températures absolues ;  $0\text{ }^\circ\text{C} = 273\text{ }^\circ\text{K}$ )

Si la source chaude et la source froide sont à la même température, la machine ne fournira aucune énergie mécanique.

Si la température de la source chaude est infinie, alors toute la chaleur peut être convertie en énergie mécanique.

La réalité se situe toujours entre les deux.

Soit une machine dont la source chaude est à 250° C, et dont la source froide est à 20° C  
Le rendement théorique maximum est:

$$\eta = 1 - (273 + 20)/(273 + 250) = 0,44$$

Si la source chaude est à 600° C, et la source froide à 20° C

$$\eta = 1 - (273 + 20)/(273 + 600) = 0,66$$

Il y a donc toujours avantage à travailler avec la température la plus élevée possible.

Mais le rendement maximum calculé ainsi n'est que le rendement théorique maximum auquel il faut "ajouter" les pertes de toute nature: pertes thermiques, pertes par frottement mécanique, etc...., le terme "ajouter" étant tout à fait impropre car les pertes, comme les rendements, ne s'additionnent pas, ils se multiplient..... ainsi, par exemple:

rendement total d'une machine = 0,66 (rendement de Carnot) X 0,60 (pertes thermiques) x 0,9 (pertes mécaniques) X..... = ?

Dans le cas de l'utilisation de la vapeur comme fluide thermique, la pression est fonction de la température, et compte tenu de du niveau technologique de l'époque, les pressions de fonctionnement étaient très basses aux débuts de la révolution industrielle, de l'ordre de quelques bar. Puis les progrès techniques permirent de faire fonctionner les locomotives à plusieurs dizaines de bar, et les centrales électriques thermiques à plusieurs centaines de bar, qu'elles soient au charbon, au fuel ou bien nucléaires

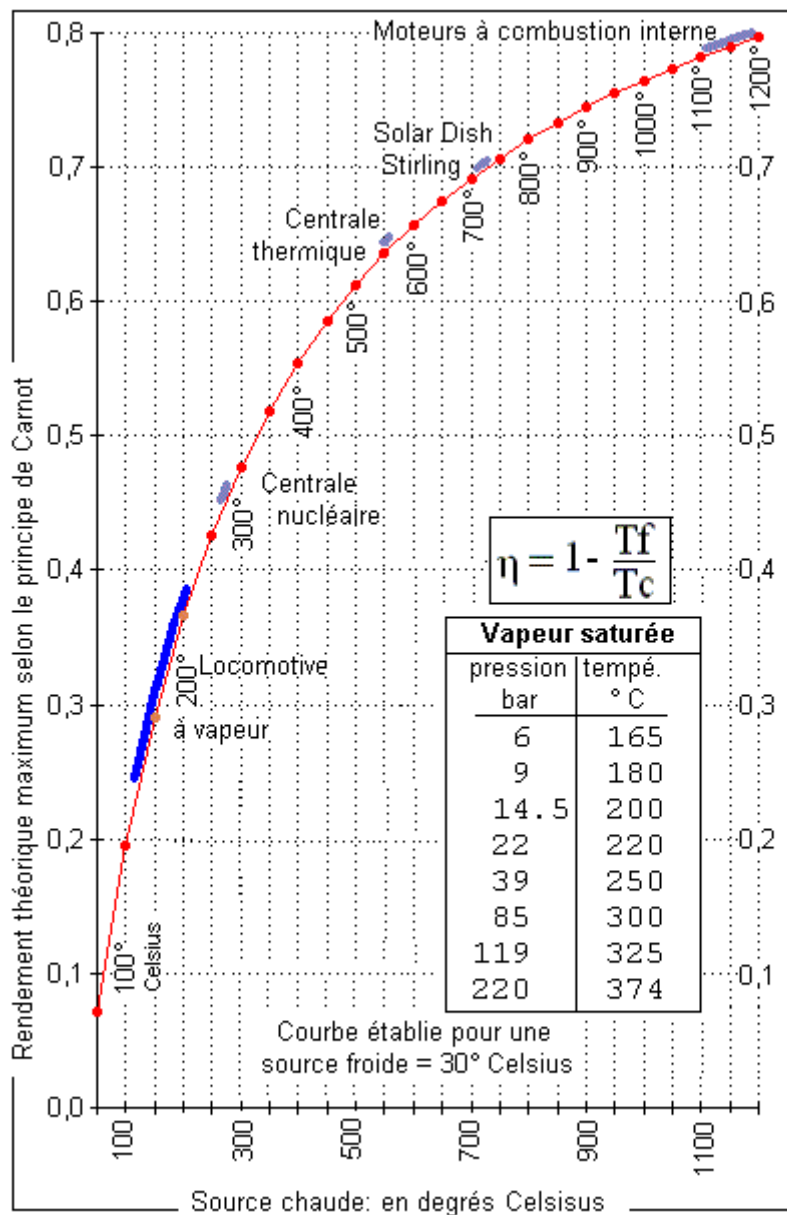
Ci dessous: une courbe établie à partir de la formule du principe de Carnot.  
Elle est à considérer (comme toutes les courbes...) avec beaucoup de précautions.

Sur l'axe des abscisses figure bien le niveau de température de la source chaude, mais la courbe est fournie pour une source froide de 30° C

Les températures de sources chaudes ne sont fournies qu'à titre indicatif, et seraient à confirmer pour chaque cas de figure:

- quelle est la température à prendre en compte pour un moteur Diesel ?
- quelle est la température à prendre en compte pour un ensemble Dish Stirling ?
- concernant les centrales électrique, noter que le niveau de température (donc: la pression de vapeur) est moins élevé dans les centrales nucléaires, pour des raisons de sécurité.
- concernant les locomotives à vapeur, quel niveau de température faut-il prendre en compte pour la source froide, sachant que la vapeur d'échappement transitait par la cheminée, pour accélérer le tirage du foyer ?

De plus, lorsque l'on raisonne sur des installations solaires de petite taille de l'ordre de quelques kW, apparaît le redoutable problème de l'effet d'échelle, qui sera abordé dans une autre rubrique : plus une installation thermique est de petite taille, plus son rendement diminue à cause du rapport de plus en plus défavorable entre le volume (générateur de puissance) et les surfaces (génératrices de pertes). En dessous d'un certain seuil, les rendements s'effondrent – alors qu'un dispositif photovoltaïque, au rendement de 12 ou 15 %, ne connaît pas ce problème.



La différence de température est pour le thermicien ce qu'est la différence de potentiel pour l'électricien (le "voltage"), ou la hauteur de chute pour l'hydraulicien.

Un moteur électrique industriel ne fonctionne pas sous 12 Volts ni même sous 220 Volts, mais sous 380 Volts.

Pour récupérer de l'énergie mécanique, un hydraulicien préfère une haute chute de montagne à un barrage "au fil de l'eau" (sauf à profiter "gratuitement" d'un barrage de régulation d'un cours d'eau)

Dans son ouvrage "La saga de l'Energie" (1994-Edition de la cité de la Villette), Claude Bienvenu explique que "Le principe de Carnot ne s'applique pas seulement à la machine à vapeur ou au moteur à explosion, mais, de la même manière, aux réactions thermochimiques ou thermoélectriques". Il s'applique donc entre autres aux machines à production de froid par absorption ou par adsorption.

La machine de production de glace de soleil-vapeur.org n'échappe pas à la règle.