



SWISS  
PLASMA  
CENTER

Faculté des Sciences de Base  
Section de physique

---

## Physique Générale II

# Introduction au deuxième principe de la thermodynamique

---

Notes de cours du 02 avril 2020

---

Prof. Ivo Furno

PPB 119  
1015 Lausanne  
Switzerland

Editées par Benoît Labit  
mis à jour le 2020-04-01 à 08:07:47

---

Avertissement : ces notes de cours ont été rédigées en urgence pendant la crise covid-19 et la fermeture du campus EPFL. Des "coquilles" peuvent s'être glissées et seront corrigées au fur et à mesure. Merci de votre compréhension.

# Table des matières

1.1	Introduction	3
1.2	Enoncé de Clausius ( $\sim 1850$ )	4
1.3	Enoncé de Kelvin-Planck	5
1.4	Équivalence des deux énoncés	6
1.5	Exemples de moteur	6

# Introduction au deuxième principe de la thermodynamique

## 1.1 Introduction

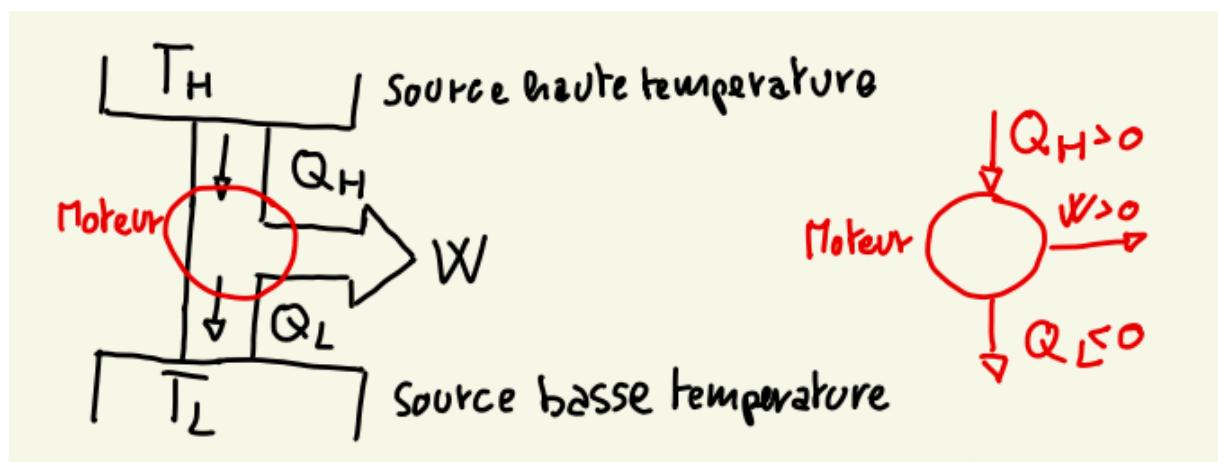
Le premier principe de la thermodynamique est essentiellement une généralisation de la loi de conservation de l'énergie, qui inclut la chaleur  $Q$  et le travail  $W$ . Le premier principe nous indique que l'on peut transformer de la chaleur en travail et inversement en variant l'énergie interne ( $\Delta U = Q - W$ ), mais il ne donne pas de limites aux processus qui peuvent avoir lieu en réalité. Par exemple, si je pose ma main sur un corps plus froid que moi, de la chaleur passe de ma main au corps plus froid. L'inverse ne violerait pas le premier principe mais n'a jamais été observé. Autre exemple, si je laisse tomber un objet, son énergie potentielle se transforme en énergie cinétique. A l'impact au sol, il dissipe cette énergie en mouvement microscopiques de ces molécules et de celles du sol (chaleur). De nouveau, le processus inverse pourrait respecter le premier principe de la thermodynamique mais n'a jamais été observé.

Le deuxième principe de la thermodynamique

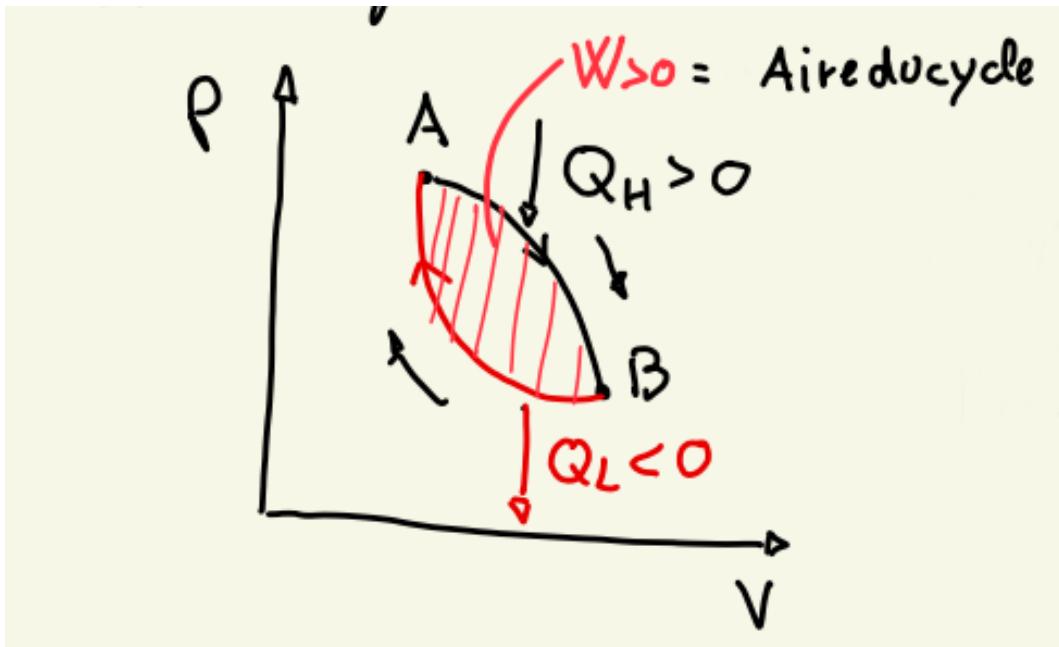
- indique les processus qui peuvent avoir lieu,
- donne les limites de ces processus.

Le développement du deuxième principe est un exemple de liaison entre questions pratiques (optimiser le rendement d'un moteur thermique) et propriétés fondamentales de la nature : dérivation liée à des problèmes d'ingénierie, qui a aussi des conséquences philosophiques (flèches du temps, ordre et désordre,...).

Qu'entend-on par *moteur thermique* ? Il s'agit d'un engin qui transforme une partie de la chaleur  $Q$ , qui passe d'une source à haute température  $T_H$  à une source à basse température  $T_L$ , en travail  $W$ , comme illustré sur le schéma ci-dessous.



Les moteurs fonctionnent sur des cycles thermiques :  $\Delta U_{\text{cycle}} = 0 \Rightarrow |W| = |Q_H| - |Q_L|$ .



## Rendement

Le rendement d'un moteur  $\eta$  est défini comme :

$$\eta = \frac{\text{travail fourni par le système}}{\text{chaleur fournie au système}} = \frac{|W|}{|Q_H|}.$$

En utilisant le premier principe, on peut obtenir :

$$\eta = \frac{|Q_H| - |Q_L|}{|Q_H|} = 1 - \frac{|Q_L|}{|Q_H|} \leq 1.$$

Du point de vue pratique, l'intérêt est d'augmenter au maximum le rendement. Cependant, quelles sont les limites de cette optimisation ? Nous verrons dans les prochaines leçons que le deuxième principe de la thermodynamique répond à cette question.

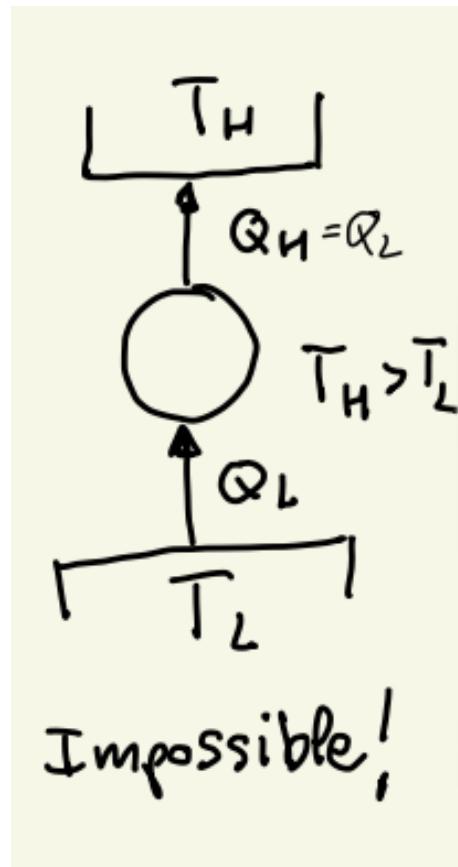
## 1.2 Enoncé de Clausius ( $\sim 1850$ )

La chaleur passe *spontanément* d'un objet chaud à un objet froid ; la chaleur ne passe pas spontanément d'un objet froid à un objet plus chaud.

Ce qui revient à dire :

Une transformation ne peut pas avoir comme **seul** résultat de faire passer de la chaleur d'un système froid à un système plus chaud.

Cet énoncé est illustré par le schéma ci-après.



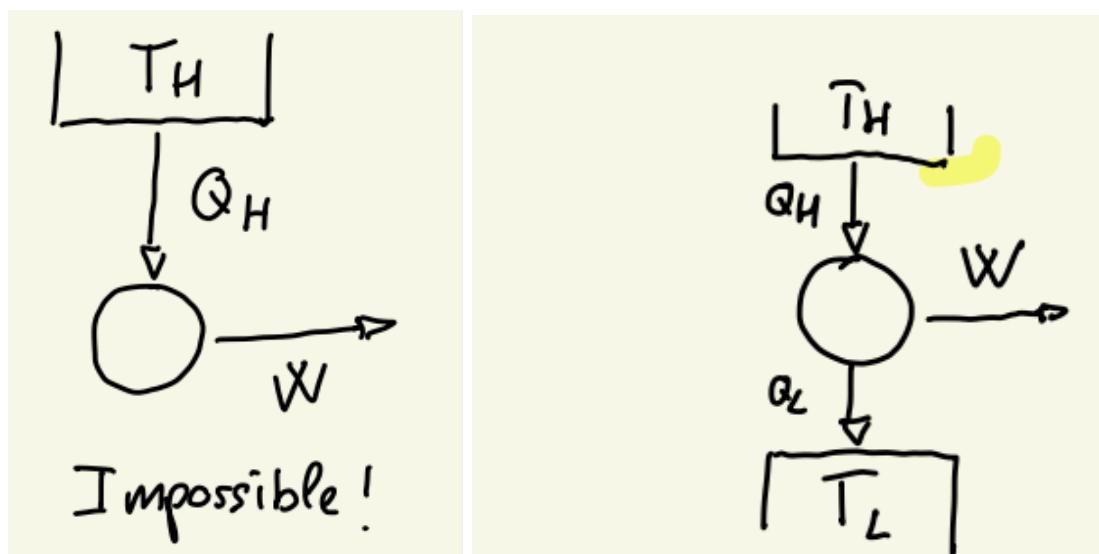
### 1.3 Enoncé de Kelvin-Planck

Il n'est pas possible de prélever une quantité de chaleur d'un corps et la transformer **entièrement** en travail.

Comme  $\eta = 1 - \frac{|Q_L|}{|Q_H|}$ , il est donc **impossible** d'obtenir  $\eta = 1$  !

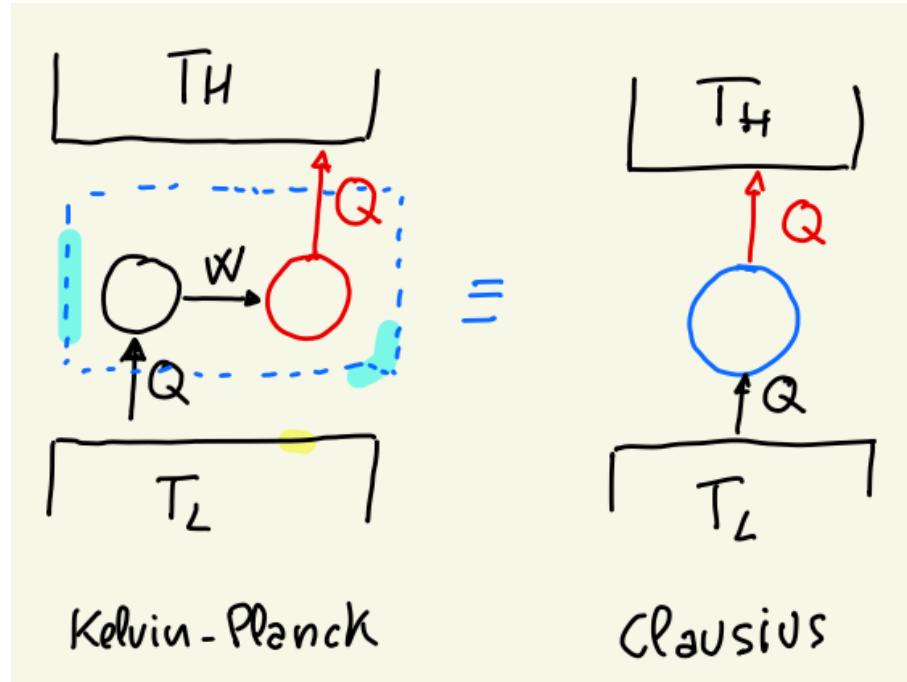
Ce qui revient à dire : Il faut toujours deux réservoirs de chaleur (haute et basse températures).

Cet énoncé est illustré graphiquement ci-dessous.



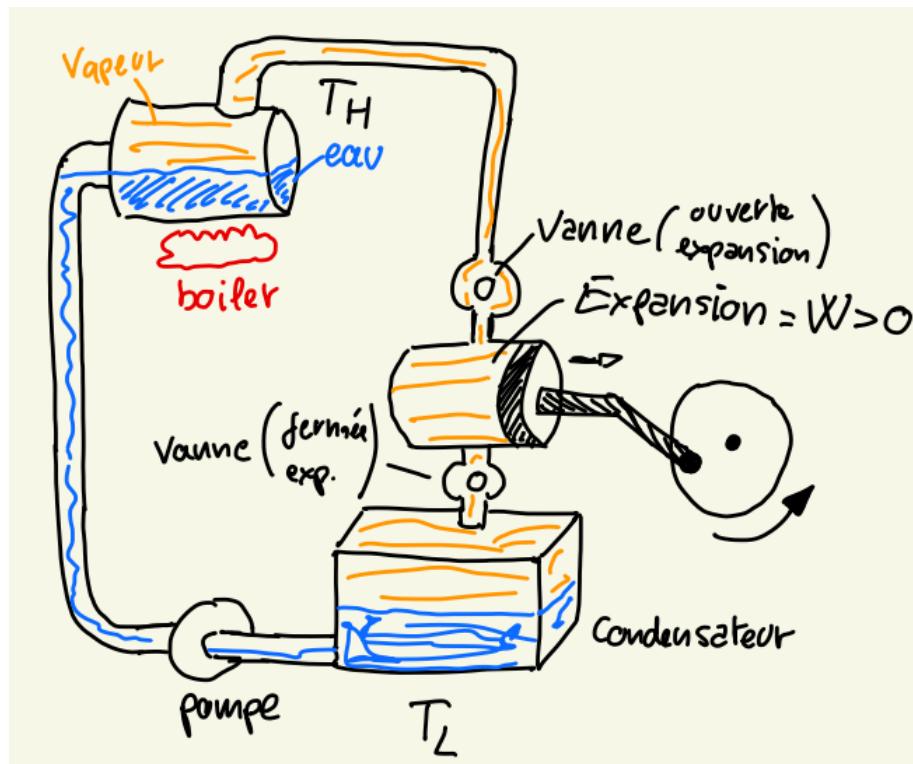
## 1.4 Equivalence des deux énoncés

Si il était possible de réaliser une machine qui transforme entièrement de la chaleur en travail, on pourrait transformer tout ce travail en chaleur pour un corps plus chaud. L'équivalence peut se voir également graphiquement : la figure de droite contredit l'énoncé de Clausius.



## 1.5 Exemples de moteur

Moteur à vapeur



**Oiseaux buveurs**

Les deux réservoirs de chaleur ( $T_H$  et  $T_L$ ) sont bien cachés ! Où sont-ils ? Voir matériel supplémentaire.

