

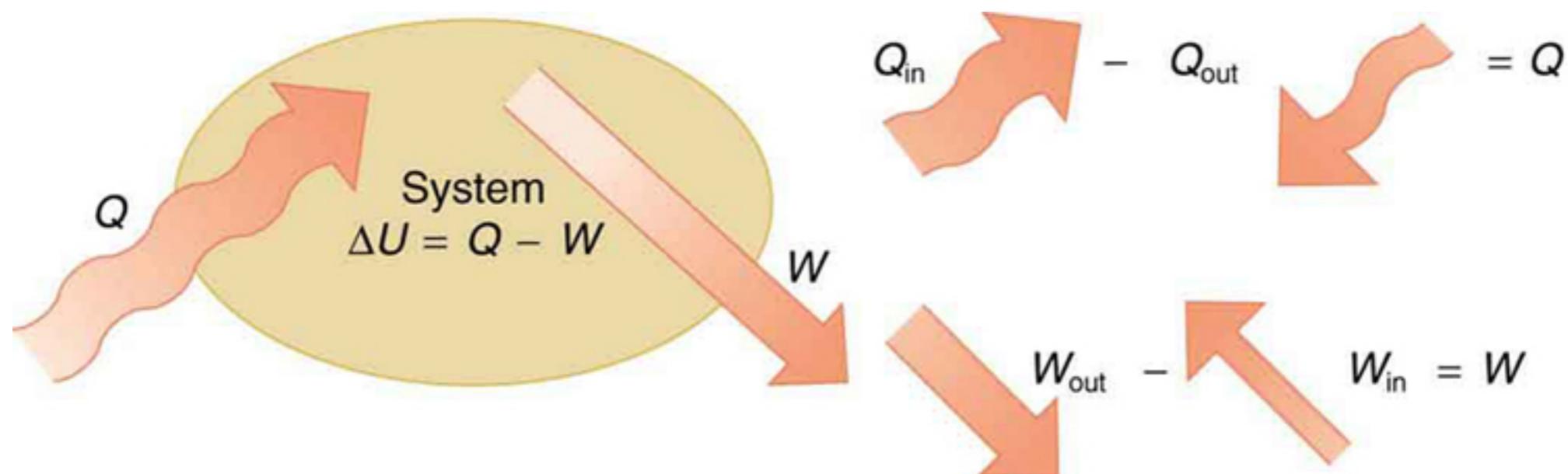
# Entropie, réversibilité

# Entropie

- Quelle est le limite de l'efficacité des machines thermiques ?
- Pourquoi certain procédés ne sont pas réversibles ?

# Le premier principe

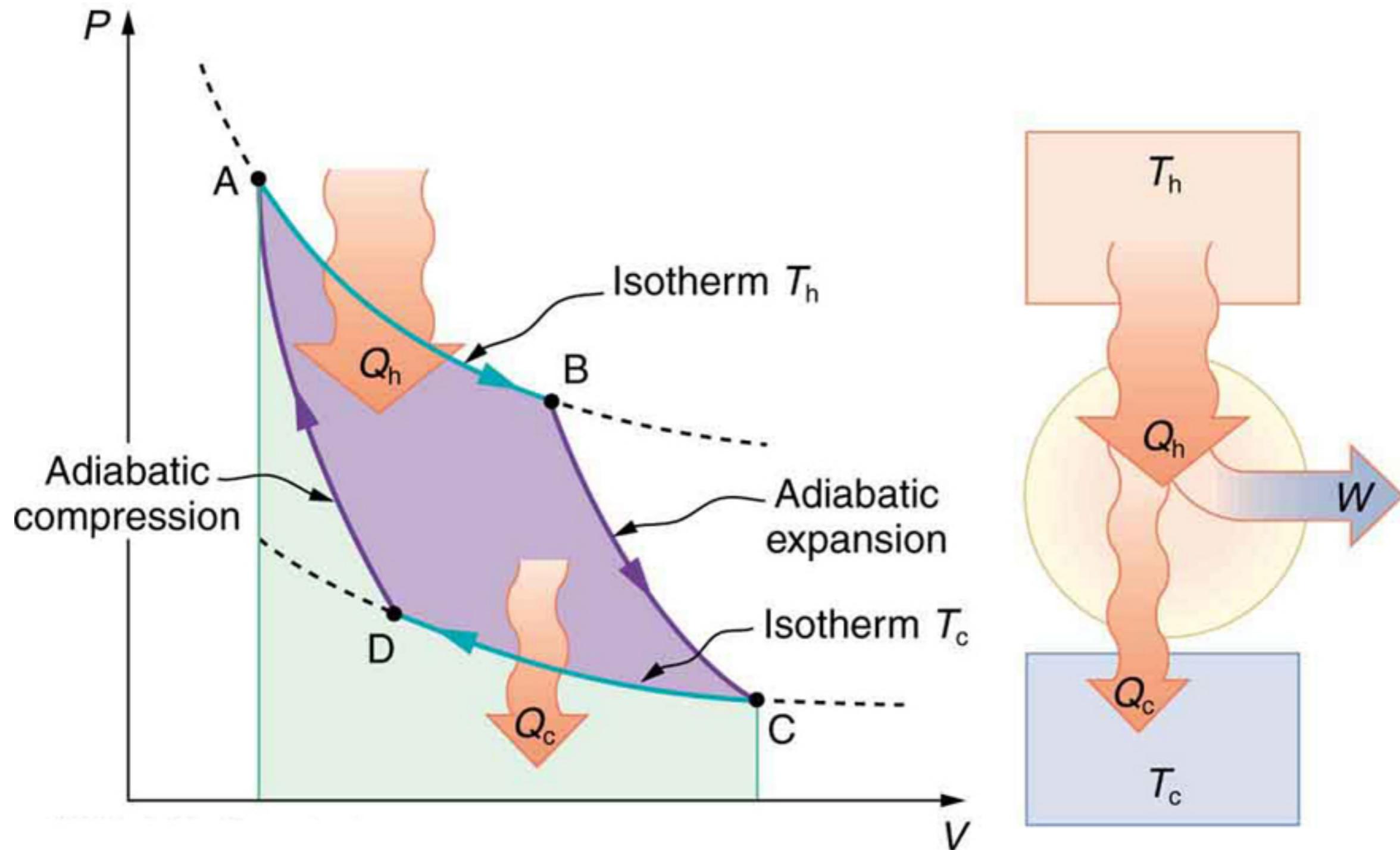
- L'énergie ne peut être ni créée ni détruite, mais transférée seulement d'un système à un autre et transformée d'une forme à une autre.



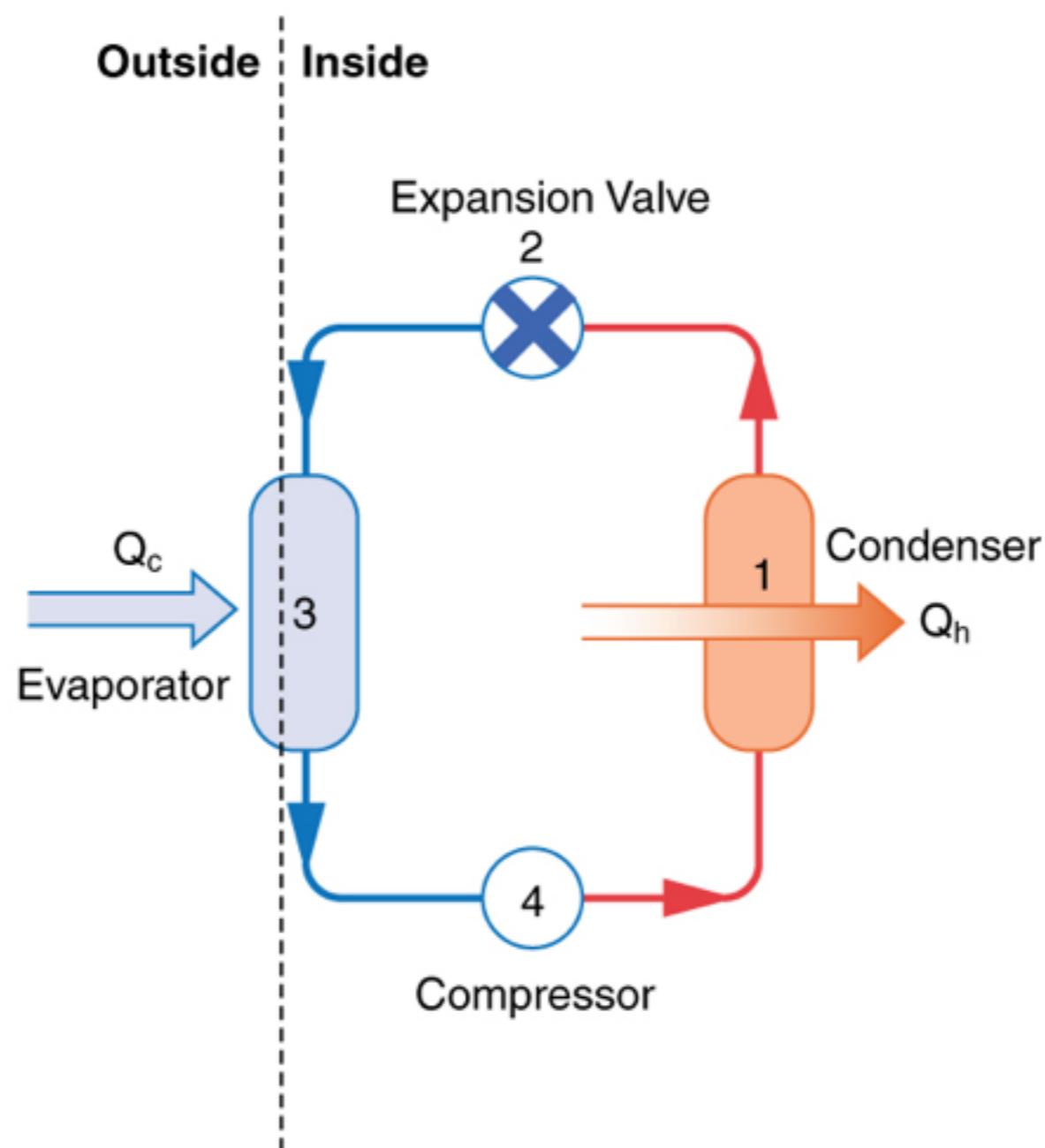
# Etat, équilibre, réversibilité

- Un système est en équilibre s'il n'a aucune tendance à subir un changement macroscopique spontané
- $(P, V, T)$  caractérisent un état
- en faisant le travail ou donnant la chaleur à un gaz, on change ces grandeurs macroscopiques, donc on change l'état
- Ces changements d'état sont réversibles si pendant la transformation  $(P, V, T)$  sont toujours bien définis

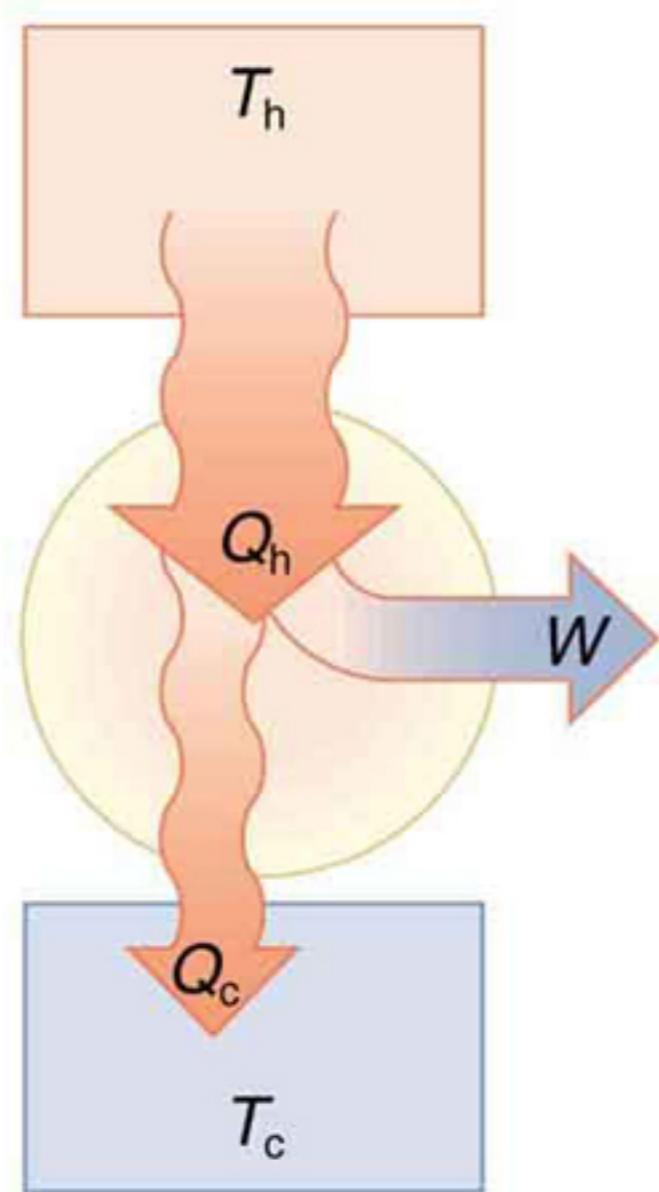
# Machine de Carnot



# Réfrigérateur



# Machine de Carnot



$$W = Q_H + Q_C$$

$$r = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{|Q_H|} < 1$$

$$r = 1 - \frac{|Q_C|}{|Q_H|} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

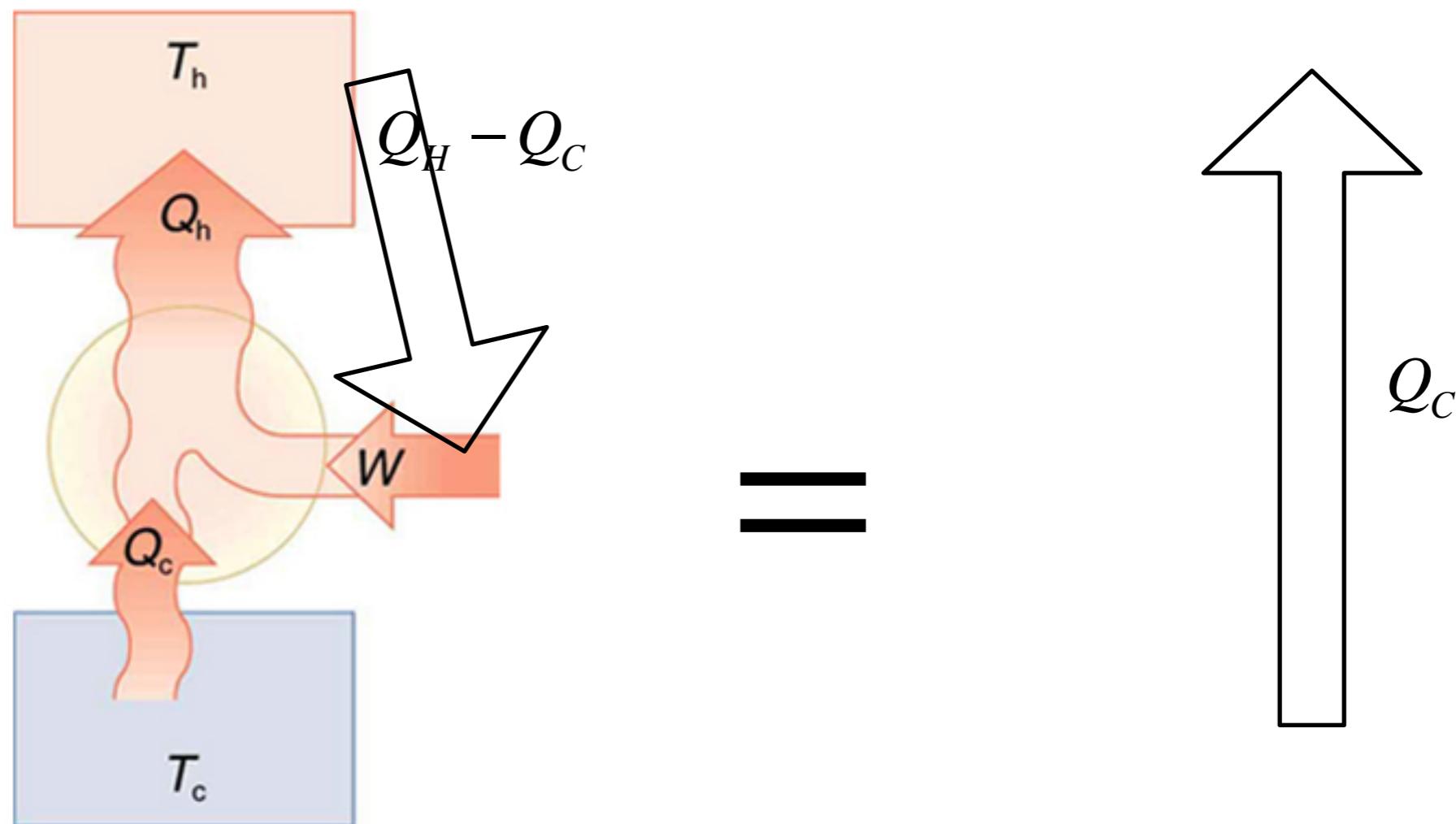
# Deuxième principe de la thermodynamique

- La chaleur s'écoule **spontanément** d'un corps de haute température à un corps de basse température. La chaleur ne s'écoule jamais d'un corps froid à un corps chaud.

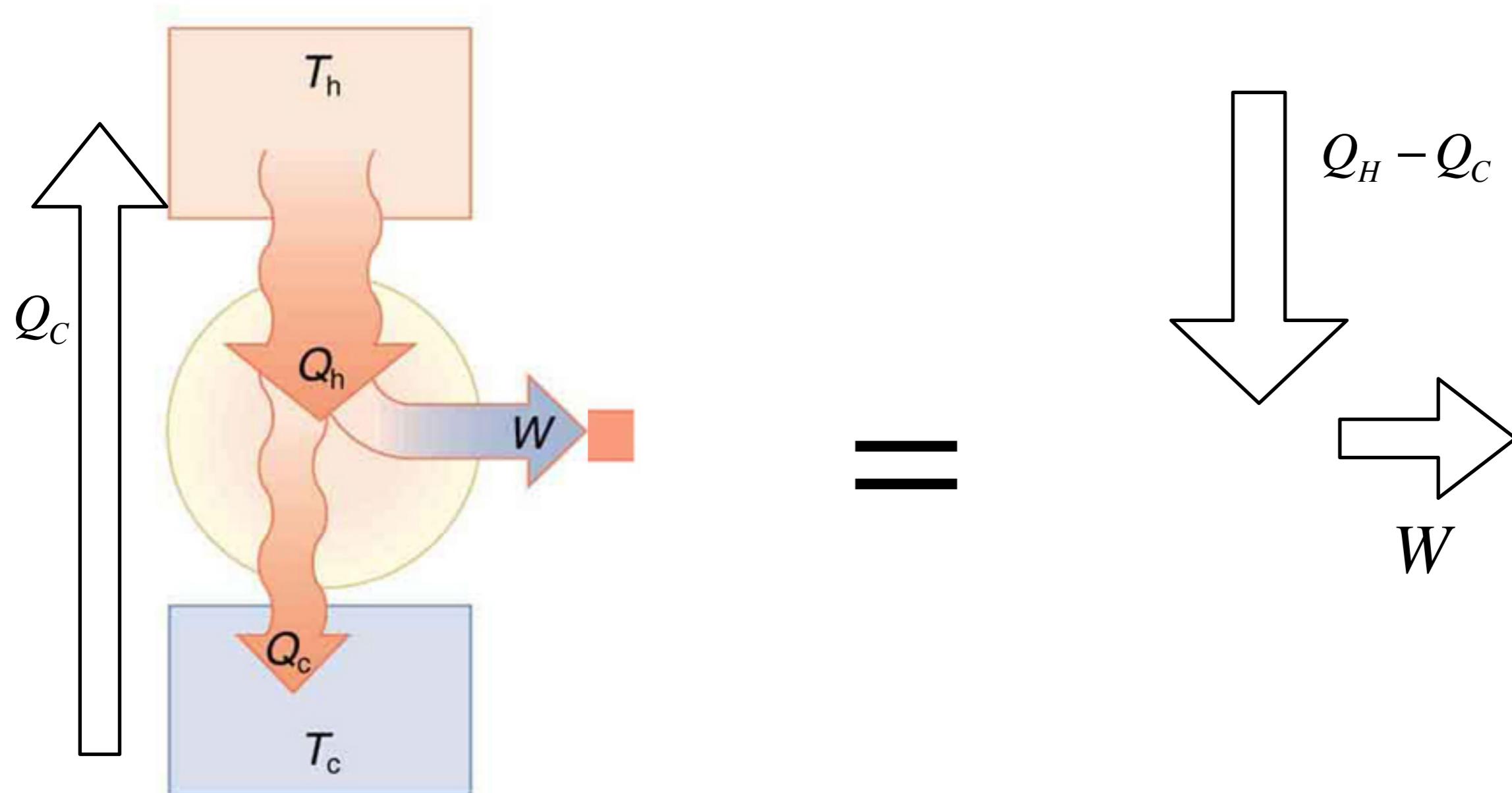
# Formulation alternative

- Aucun processus n'est possible, si son résultat **unique** est l'extraction de la chaleur d'une source et sa transformation **complète** en travail.

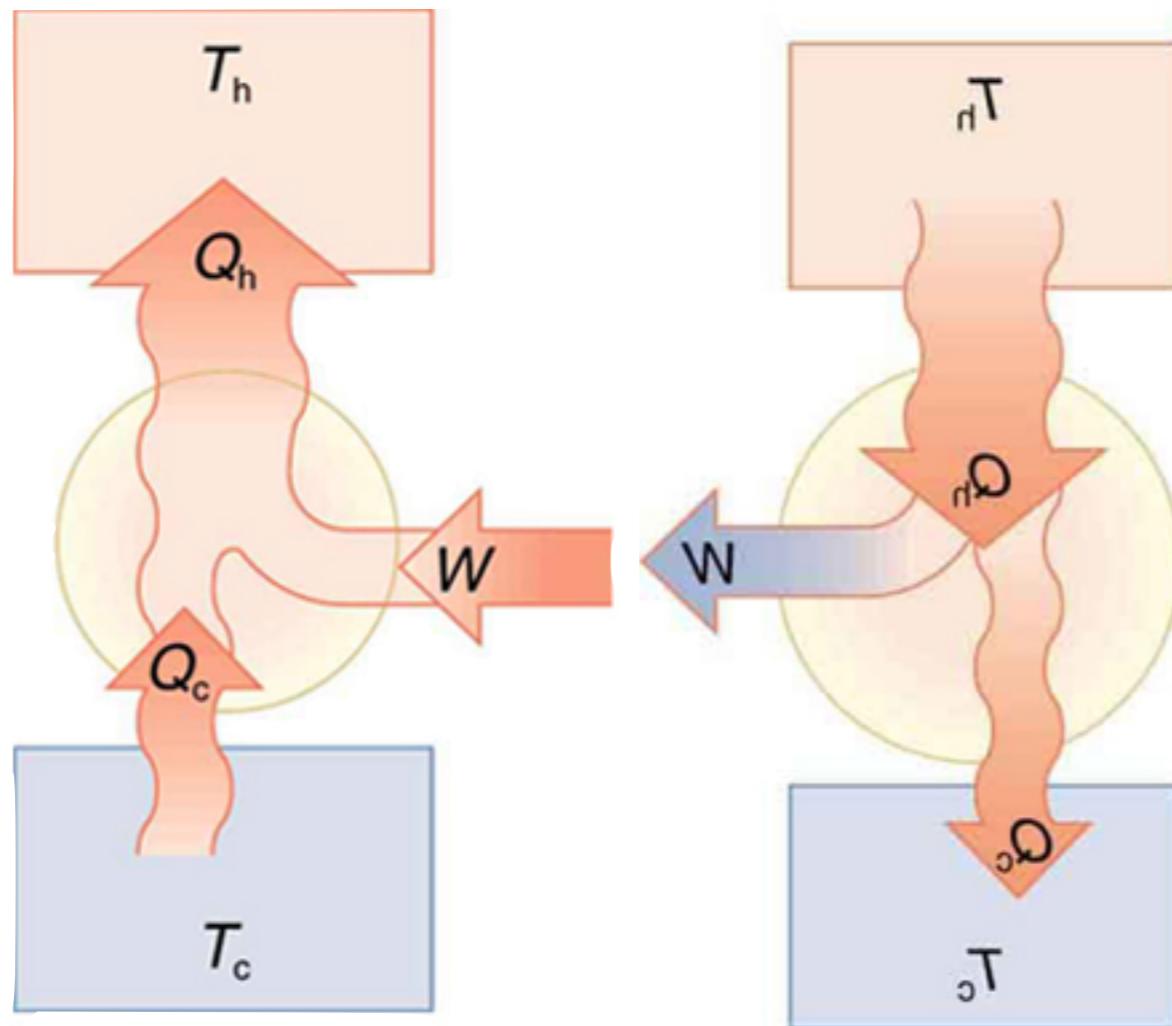
# Équivalence des deux formulations



# Équivalence des deux formulations



# La machine réversible est le plus efficace possible



Carnot

machine mieux  
que la machine réversible

# Entropie

- Une machine thermique transforme l'énergie “noble” en travail et en énergie “moins noble” : voiture et son carburant, centrale nucléaire et l'uranium, cellule photovoltaïque et lumière.
- Chaque système isolé évolue vers un état avec plus grande entropie.
- Chaque transformation augmente, ou, dans le cas idéale, laisse l'entropie du système inchangée

# Entropie dans la machine de Carnot

$$1 - \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$\frac{Q_C}{T_C} = \frac{Q_H}{T_H} = S$$

$$S = \frac{Q_H}{T_H}$$

- Dans la machine de Carnot, la source chaude perd l'entropie, la source froide le gagne, l'entropie totale est inchangé
- Les machines **réversibles** ont la propriété que leur fonctionnement **ne change pas l'entropie**.

# Ordre et désordre

- Dans chaque procédé **spontanée** nous pouvons observer l'augmentation du désordre.

# Etat et microétat

- microétat = une configuration concrète ( $v_i$ )
- Chaque état d'un gaz ( $p, V, T$ ) peut être réaliser avec beaucoup des microétats différentes ( $T$  définit uniquement l'énergie **moyenne** des atomes), et c'est seulement l'énergie totale qui est conservée. L'état le plus probable est l'état qui peut être réaliser par le plus grande nombre de microétats
- un état est plus désordonné s'il peut être réaliser par plus de microétats.

# Relation entre désordre et entropie

$$S = k_B \ln W$$

probabilité d'un état donné :

$$p = \frac{W}{W_{tot}}$$

# de microétats