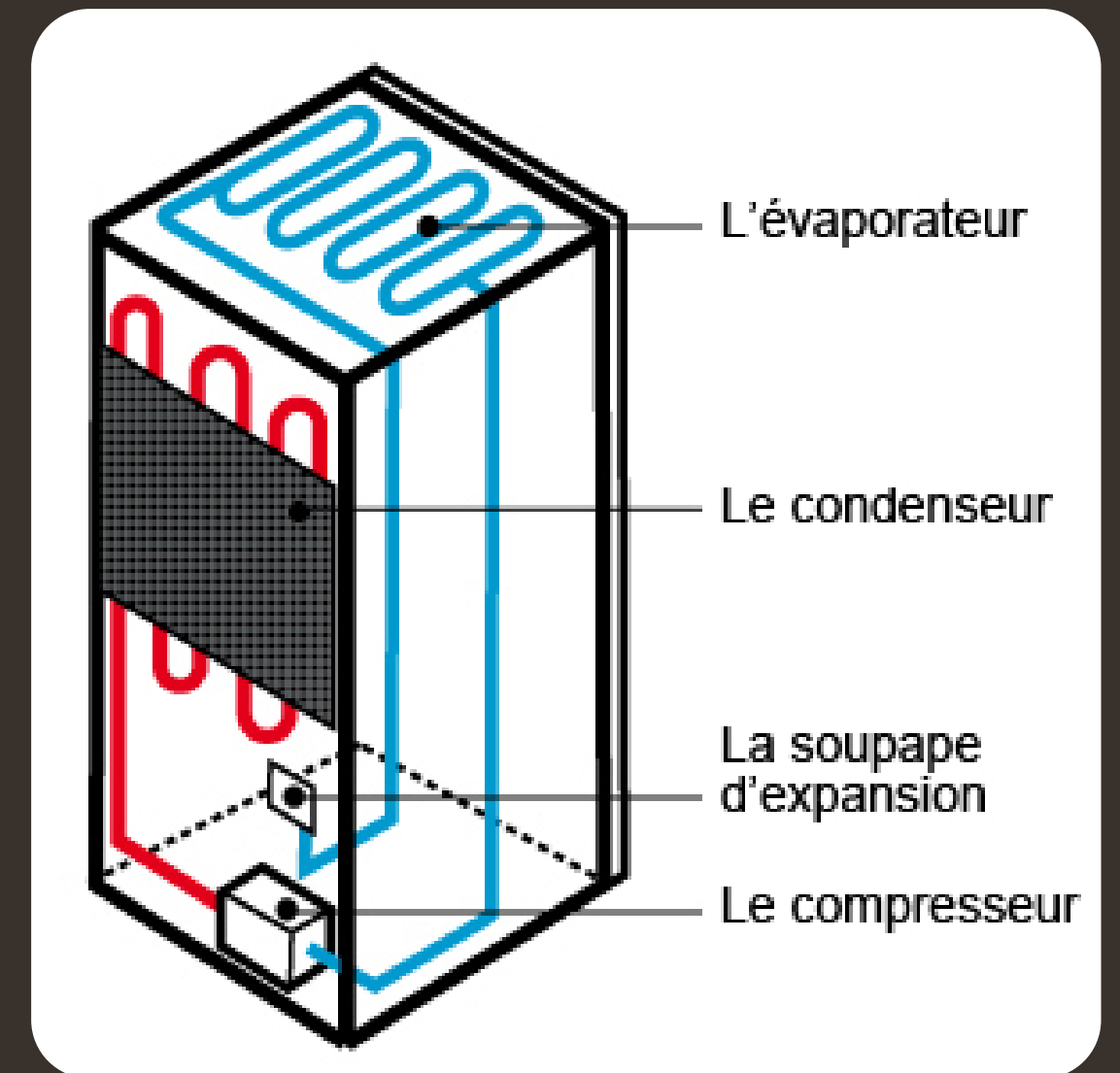
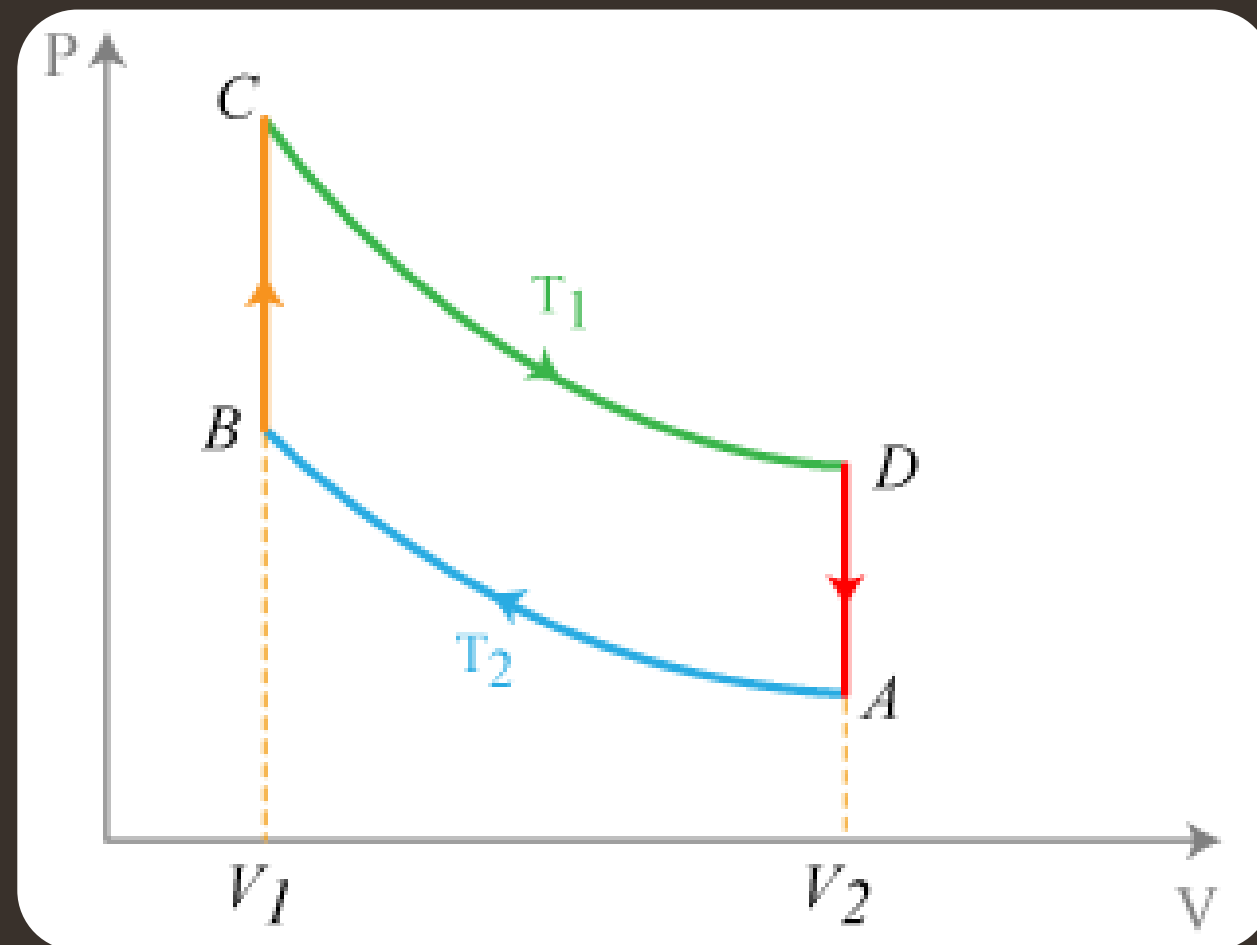


Daniel, Nolan, Anatole, Jules

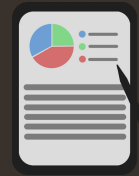
# THERMODYNAMIQUE INDUSTRIELLE



# SOMMAIRE

CONCOURS CENTRALE • SUPÉLEC

20/20



ANALYSE D'ANNALES



FICHE



METHODES

- **CCINP 2021**: Chauffe eau thermodynamique

On étudie une **pompe à chaleur réversible** prélevant de l'énergie à l'air pour **chauffer l'eau**. Les définitions des notions de base (**isotherme**, **adiabatique**) et le tracé du **cycle** dans le **diagramme de Clapeyron** sont demandés par le sujet.

**Objectifs**: Etablir l'expression du COP maximal puis trouver le travail  $W$  nécessaire pour faire chauffer l'eau

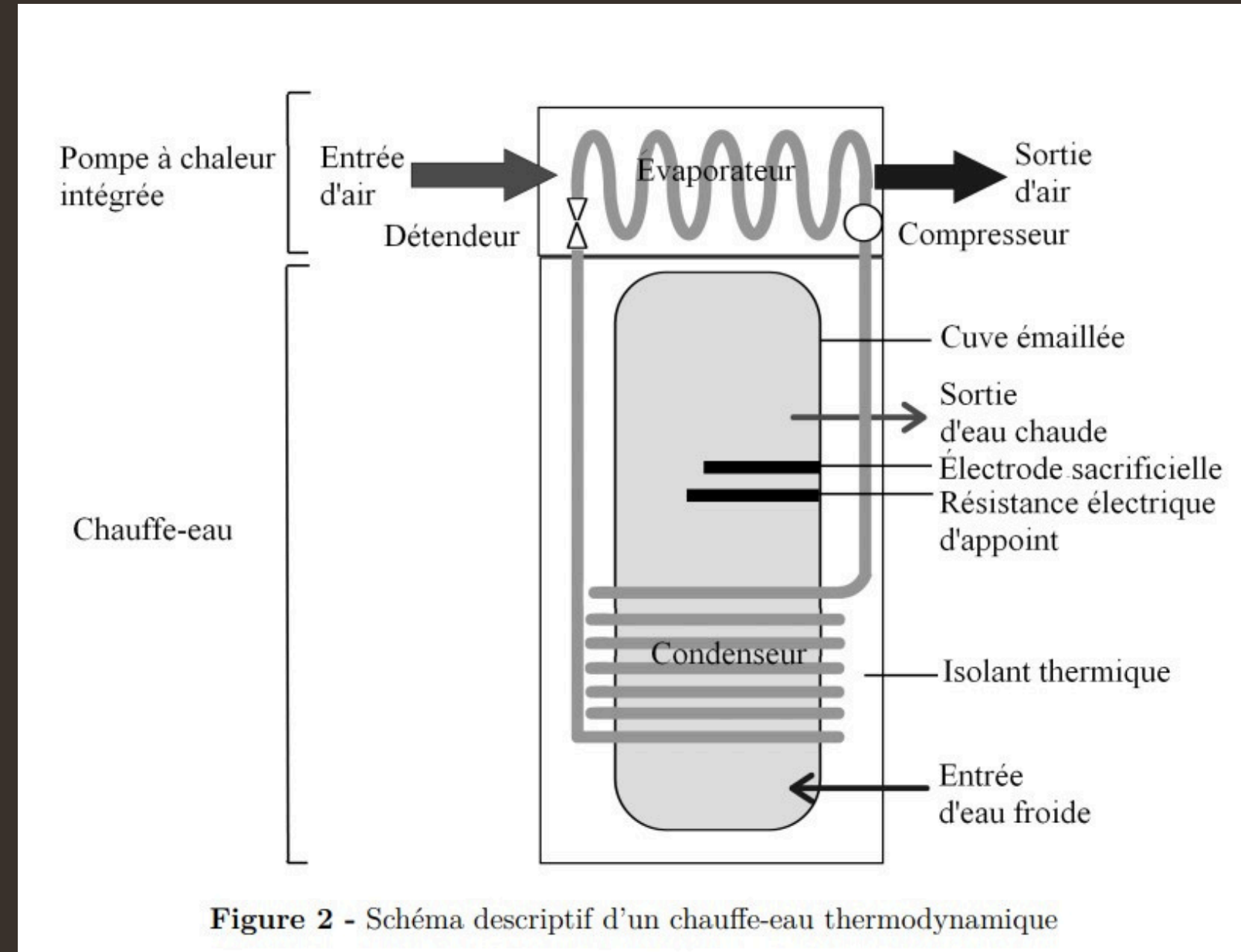


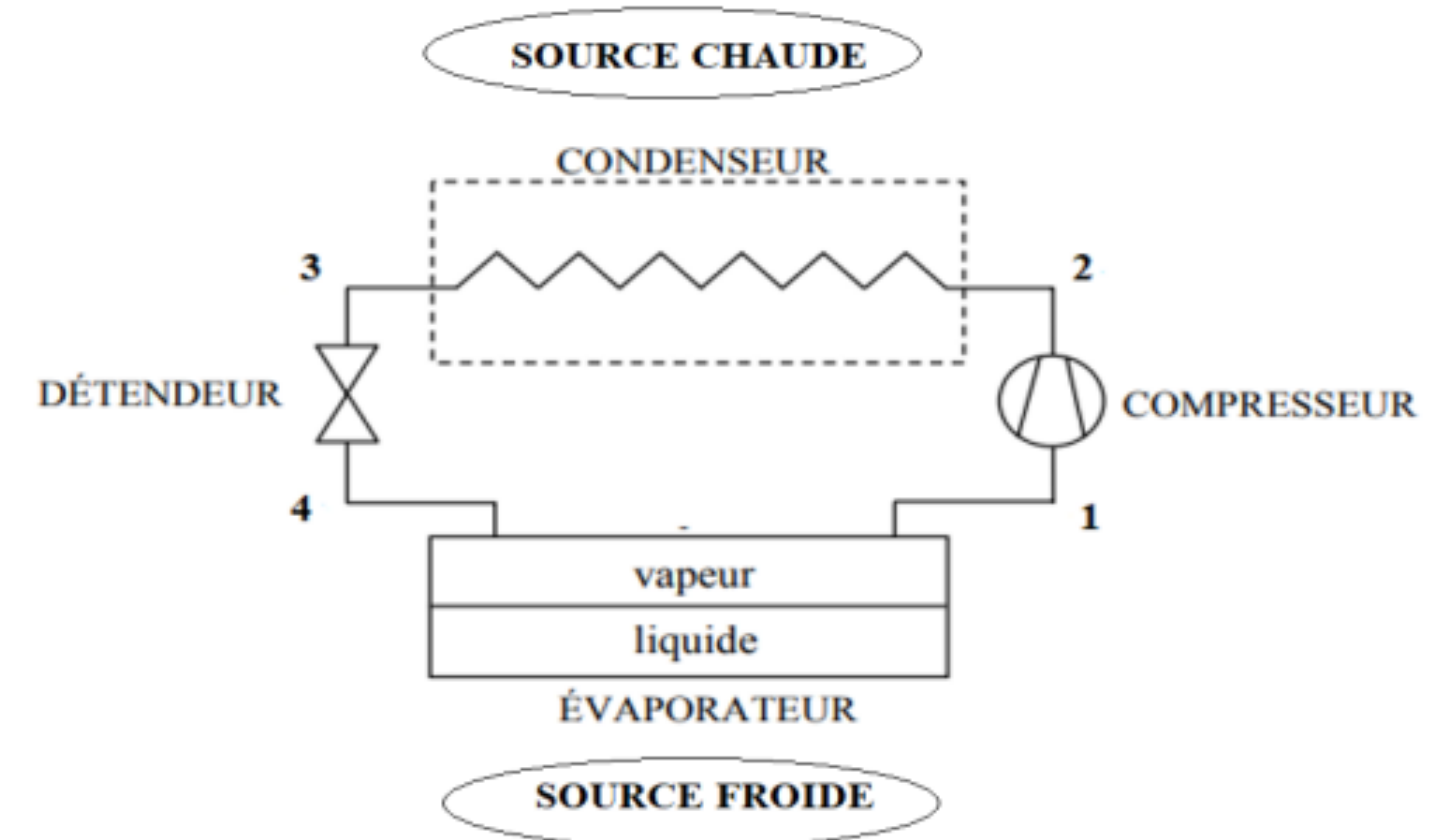
Figure 2 - Schéma descriptif d'un chauffe-eau thermodynamique

- **CCINP 2024** : Réfrigérateur à compresseur

On étudie un **réfrigérateur** utilisant le fluide R134a. Le **diagramme enthalpique** est à utiliser pour lire les **enthalpie massique**, les **titres en vapeur** et les **pression**

**Objectifs:** Déterminer les **transferts thermiques** et le **travail utile** à l'aide du **PPI**.

Etablir l'expression du **COP** puis analyser l'impact de **l'irréversibilité** du système sur la **consommation électrique**



**Figure 6** - Schéma simplifié du réfrigérateur

- **CCINP 2025** : Chauffage de l'eau de la piscine

On étudie un **cycle frigorifique**. les points caractéristiques des transformations sont à placer sur le **diagramme enthalpique** puis on calcule à l'aide du **PPI** les **enthalpies massiques**.

**Objectifs:** Evaluer l'efficacité puis déterminer le débit massique du fluide.



## CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

### CCS1 2023 – Étude d'une chambre froide

On étudie une installation de stockage de récoltes utilisant le R134a. Contrairement aux **cycles idéaux**, on introduit un **sous-refroidissement isobare** et une **surchauffe de vapeur**.

#### Objectifs :

- Utiliser des données (Pression, Température, Enthalpie) pour calculer les performances.
- Appliquer le premier principe industriel pour déterminer le transfert thermique à l'évaporateur et la puissance thermique réelle extraite de la chambre froide



## CONCOURS CENTRALE SUPÉLEC

- **CCS1 2021:** Cogénération par centrale à vapeur

On étudie une centrale produisant simultanément **électricité** et **chaleur**. Le **cycle** utilise l'eau comme **fluide caloporteur** et comprend une **chaudière** (combustion externe), une **turbine**, un **condenseur** et une **pompe**

### Objectifs :

- Calculer le transfert thermique massique en chaudière et le travail mécanique récupéré par la turbine.
- Évaluer l'efficacité globale de la cogénération.



## CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

- **CCS1 2022:** Le moteur Stirling (Projet KRUSTY)

On étudie un **moteur** destiné à l'exploration spatiale (Mars) alimenté par un réacteur nucléaire. Le **cycle** est composé de **deux isothermes et deux isochores**

### Objectifs :

- Calculer les travaux et transferts thermiques pour chaque transformation en utilisant le modèle du gaz parfait.
- Définir le rendement idéal et celui de Carnot.
- Analyser l'intérêt d'un régénérateur idéal pour atteindre l'efficacité de Carnot



## CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

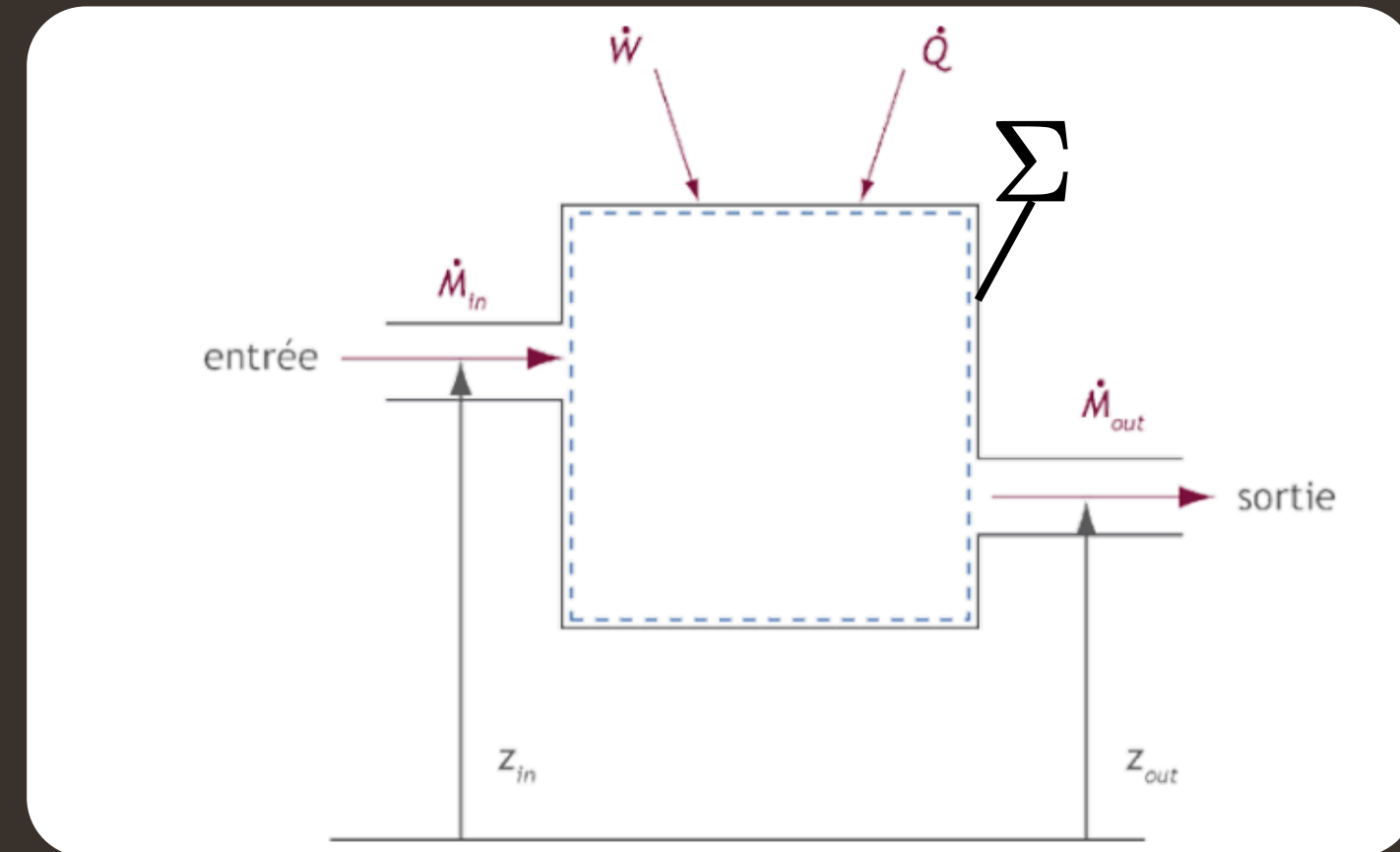
- **CCS2 2020**: Machine frigorifique (Absorption et Compression)

On compare une machine à absorption ( **trois sources de chaleurs sans travail mécanique**) à une machine à **compression** classique à fluide frigorigène R134a

### Objectifs :

- Pour l'absorption : établir le COP maximal via les principes de la thermodynamique.
- Pour la compression : tracé du cycle, lecture des enthalpies et calcul de la puissance frigorifique à partir du débit massique

Un **systeme ouvert**  $\Sigma$  est un systeme qui **échange de la matière avec l'environnement** => il est délimité par une **surface de contrôle** traversée par un **fluide en écoulement stationnaire**



## POUR UN SYSTEME OUVERT UNIQUEMENT

Premier principe industriel	Deuxième principe industriel
$\Delta ec + \Delta (gz) + \Delta h = w_i + q$	$\Delta S = \Delta S_e + \Delta S_c$

$w_i$  : Travail massique indiqué fourni par les parties mobiles  
 $q$  : Transfert thermique massique

$S_e = \frac{q}{T_{ext}} = 0$  Si adiabatique  
 $S_c = 0$  Si réversible

Lois de Joule

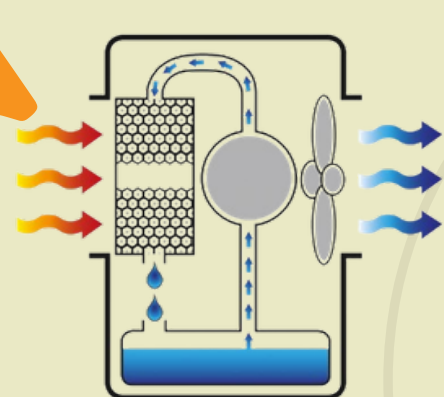
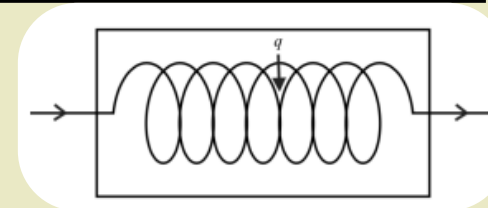
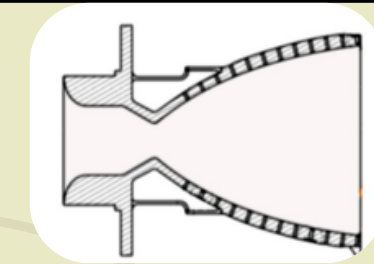
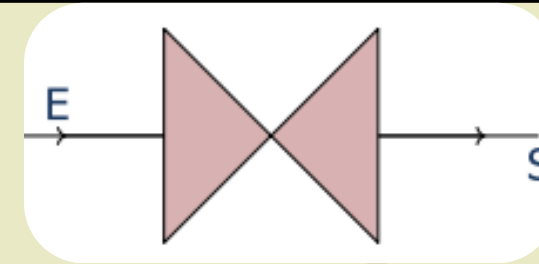
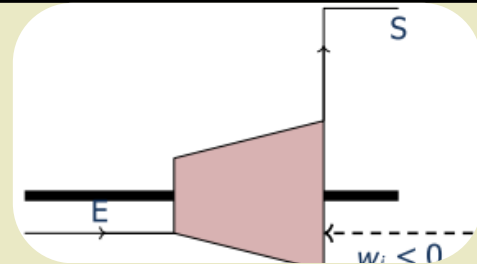
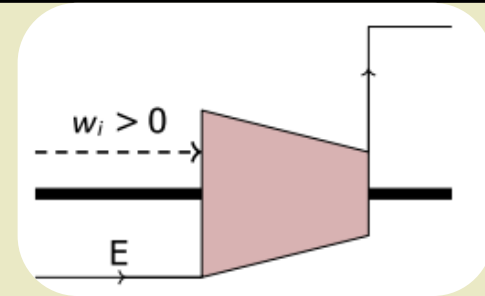
$$dU = C_V dT$$

$$dH = C_P dT$$

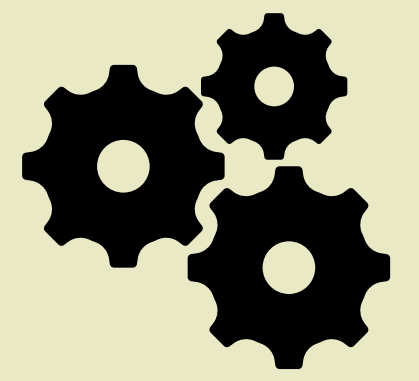
# Les composants élémentaires

FTIC

	Compresseur / Pompe	Turbine	Détendeur	Tuyère	Echangeur
Rôle	Augmenter la pression	Produire du travail utile	Abaissér la pression	Augmente l'énergie cinétique	Transfert thermique
Hypothèses	Adiabatique, $\Delta ep = \Delta ec = 0$	Adiabatique, $\Delta ep = \Delta ec = 0$	Calorifugé, sans parties mobiles, $q = w_i = 0$	Adiabatique, $\Delta ep = 0$	Isobare, $w_i = 0$
Bilan (1er principe)	$w_i = \Delta h > 0$	$w_i = \Delta h < 0$	$\Delta h = 0$	$\Delta h + \Delta ec = 0$	$q = \Delta h$

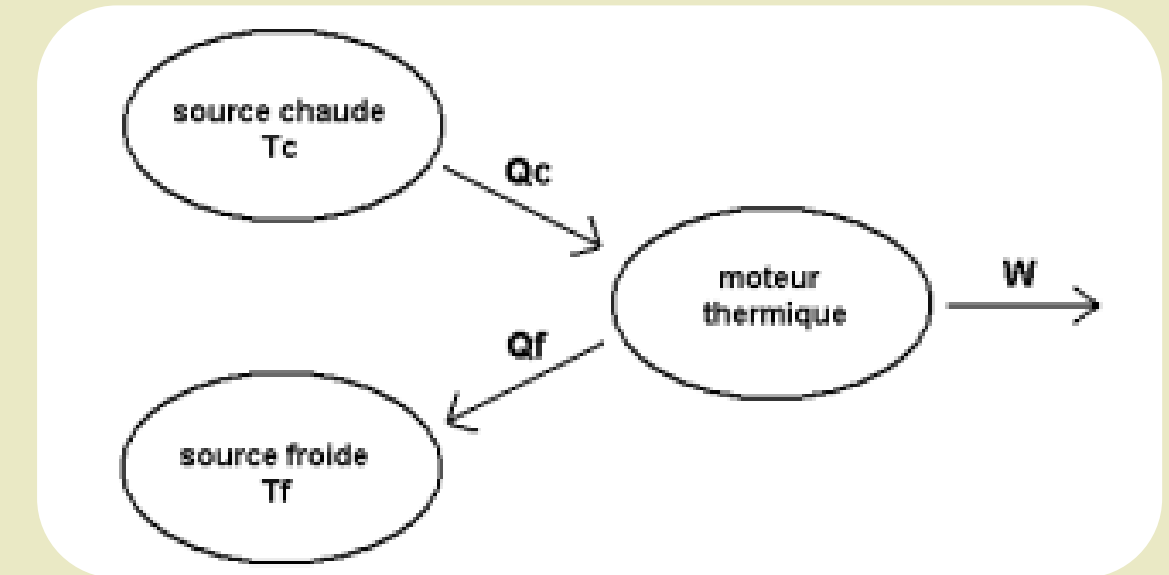
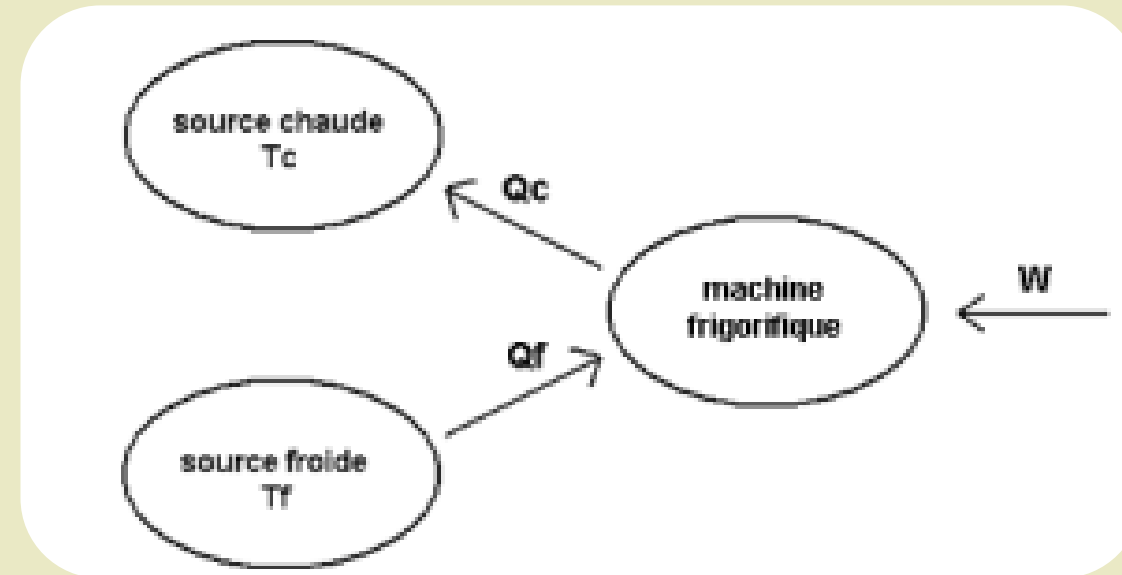


# Modélisation globale



## Pompe à chaleur (PAC).

## Moteur



Transfert thermique forcé

$$Q_f > 0$$

$$Q_c < 0$$

$$W > 0$$

**Irréversibles**

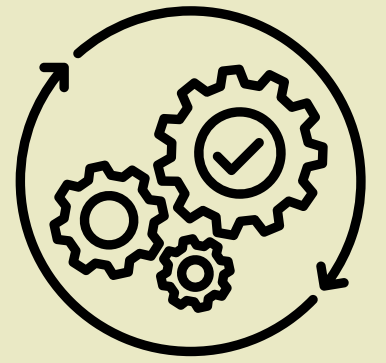
$$S_c > 0$$

Fournit du travail

$$Q_f < 0$$

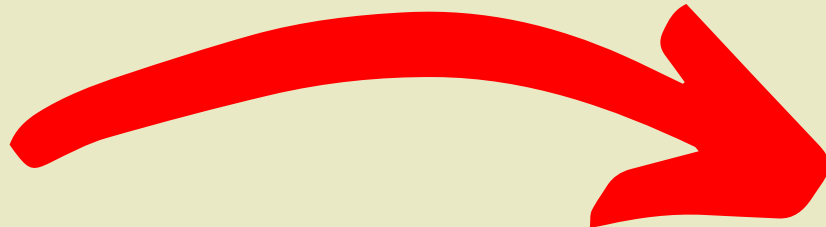
$$Q_c > 0$$

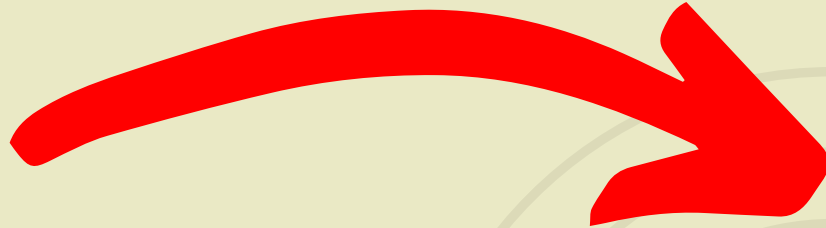
# Rendements et efficacité



**A retenir :**  $\eta = \frac{\textit{utile}}{\textit{couteux}}$

Moteur :  $\eta = \frac{-W}{Q_c}$  Cas réversible (Carnot)   $\eta_{max} = 1 - \frac{T_f}{T_c} \leq 1$

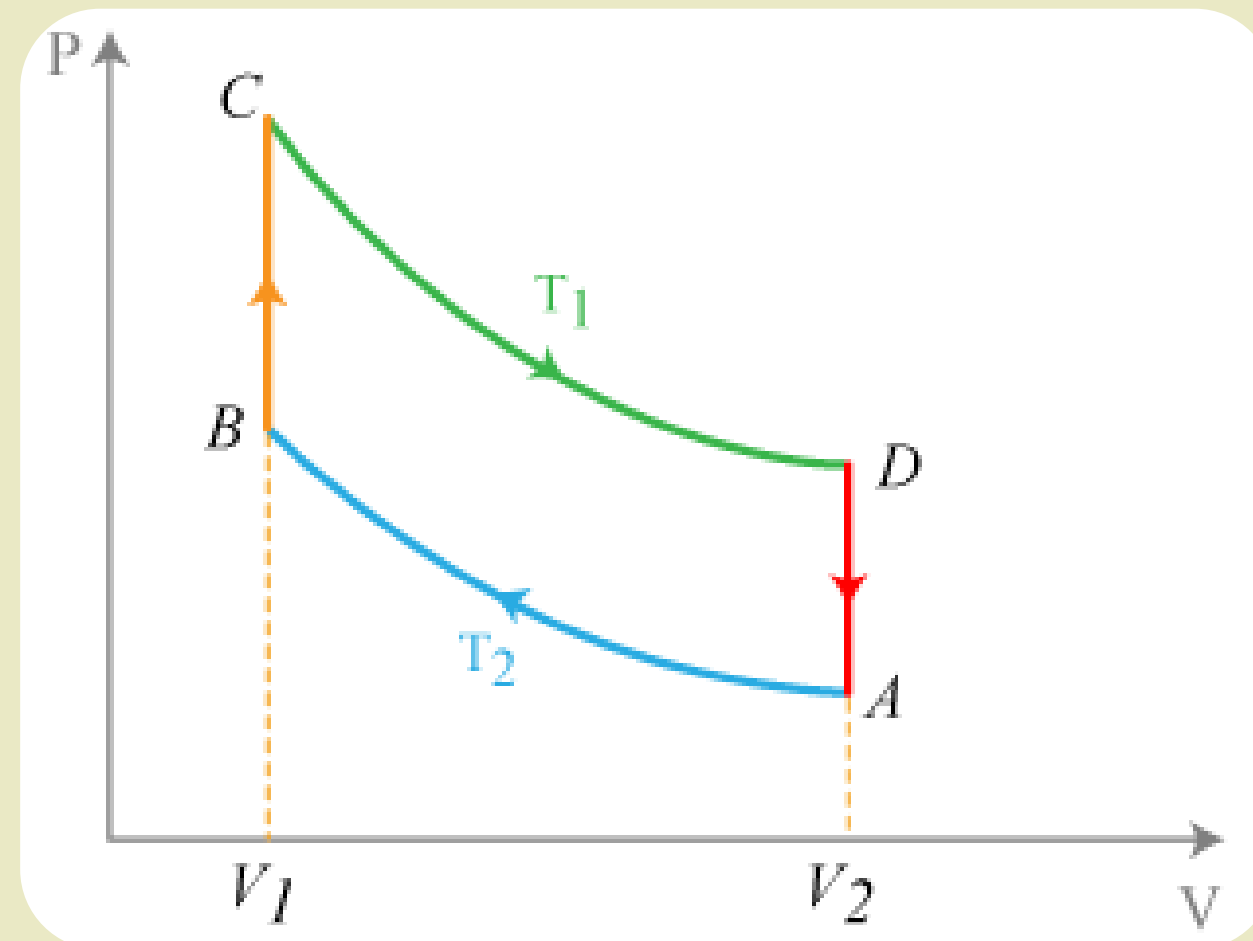
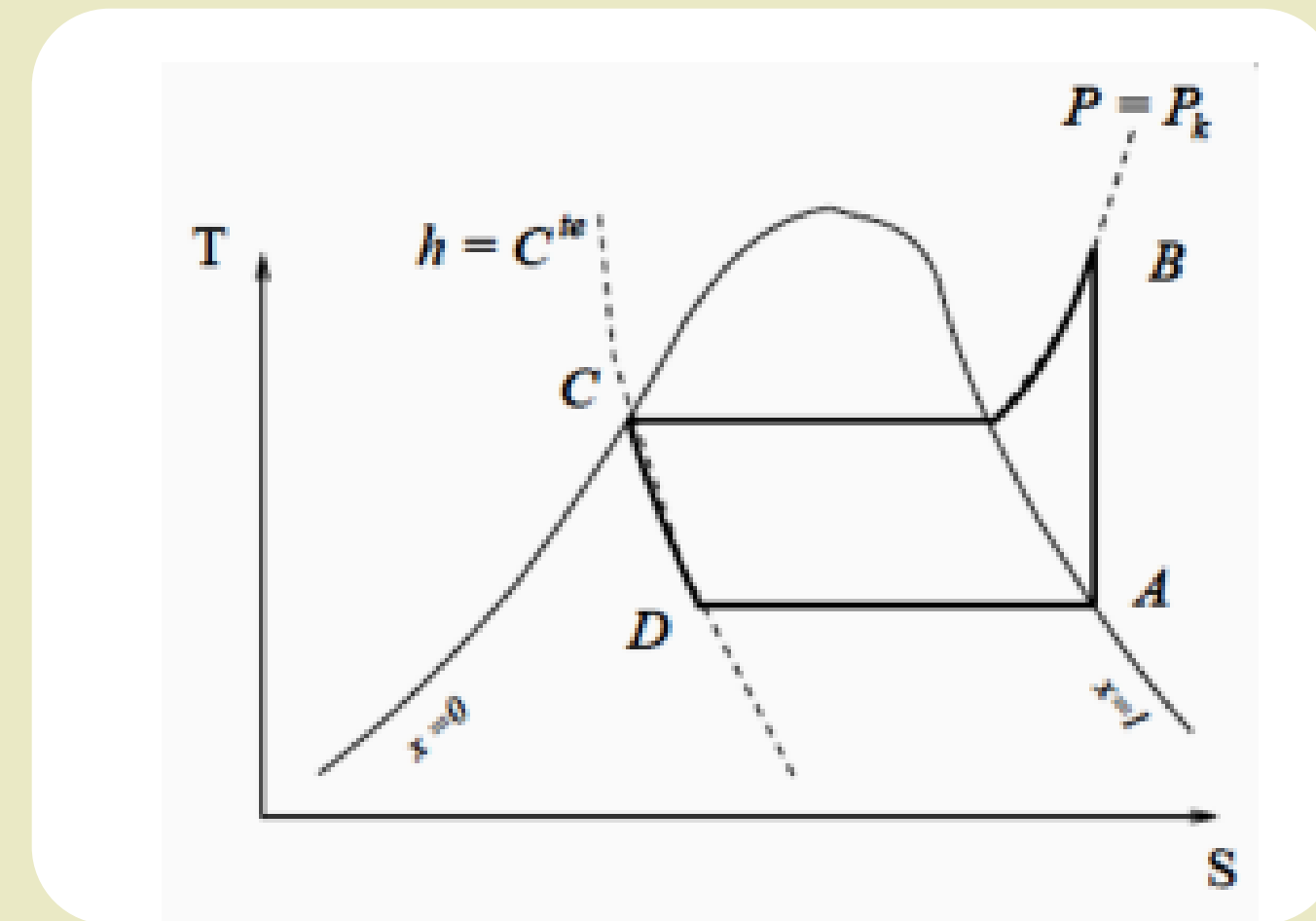
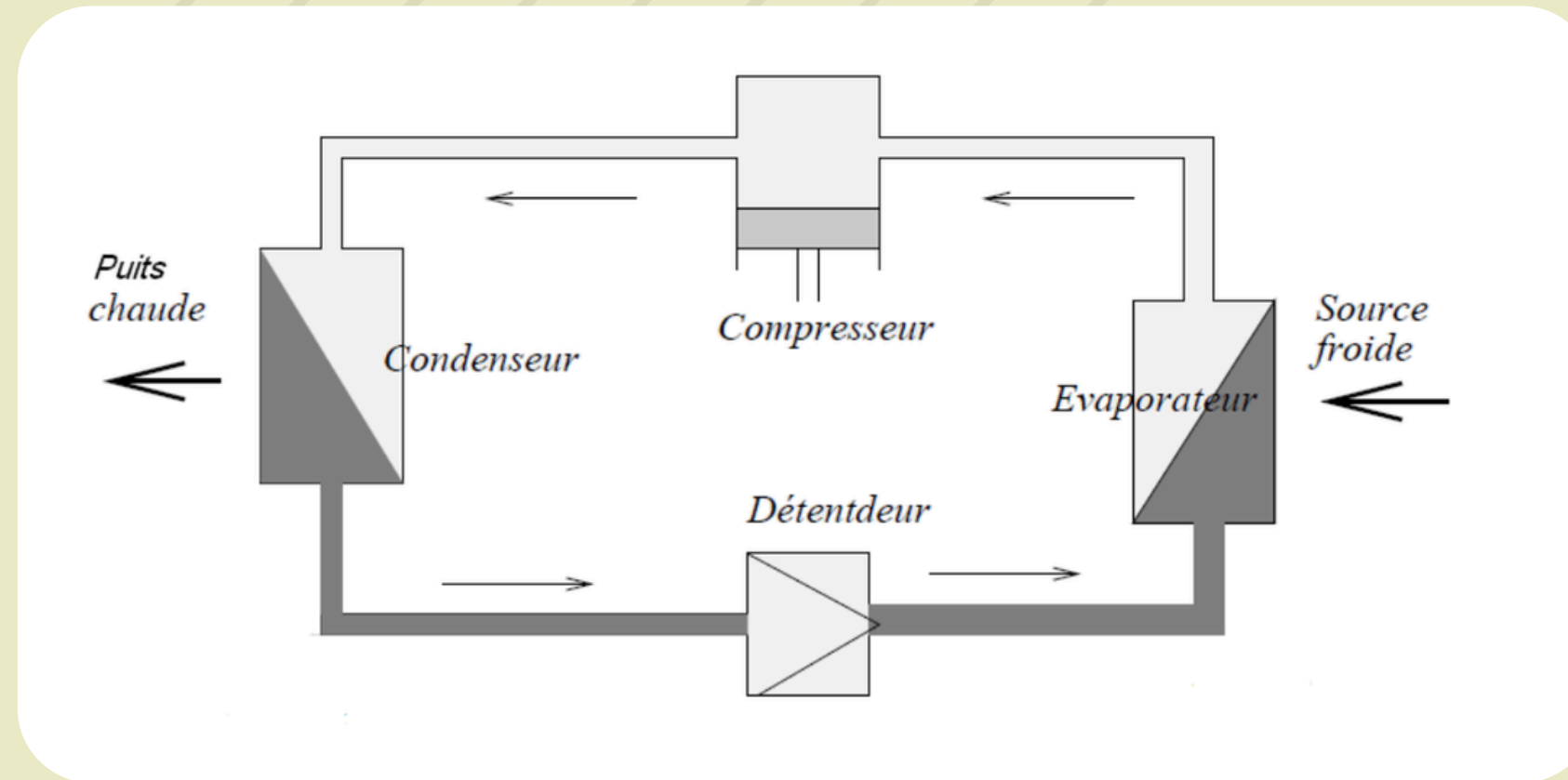
Réfrigérateur :  $e = \frac{Q_f}{W}$  Cas réversible (Carnot)   $e_{max} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$

PAC :  $e = \frac{-Q_c}{W}$  Cas réversible (Carnot)   $e_{max} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$

EFFICACITÉ

# Analyses graphiques : Diagramme, schémas

FILE



Cycle de Carnot : 2 premières transformations **isotherme** et **adiabatique réversible**

2 suivantes : **Détente isotherme** et détente **adiabatique réversibles**



Machine motrice = sens horaire, sinon antihoraire si pas motrice

# Théorème des moments

On utilise la relation  $x_l + x_v = 1$  et, au choix, l'une des relations :

$$v = x_l v_l + x_v v_v$$

$$h = x_l h_l + x_v h_v$$

$$s = x_l s_l + x_v s_v$$

afin d'isoler  $x_v$  ou  $x_l$ . Par exemple on en déduit  $x_v = \frac{v - v_l}{v_v - v_l}$ , etc.

*\*A utiliser presque dans chaque exos de PPI*

# METHOD



## Caractériser les transformations

- Isotherme ( $\Delta T=0$ ),
- Isobare ( $\Delta P=0$ ),
- Adiabatique ( $\delta s_e=0$ ) réversible ( $\delta s_c=0$ ):
  - $ds=\delta s_e+\delta s_c$  si réversible → Transformation isentropique ( $\Delta s=0$ )
  - gaz parfait :  $P^{(1-\gamma)} T^\gamma = \text{cste}$

## Identifier le système et les états

Déterminer si le système est ouvert (flux continu), fermé ou isolé



Turbine fournit du travail  $W < 0$ , compresseur reçoit du travail  $W > 0$   
échange d'énergie avec l'extérieur

- 1er Principe Industriel (PPI) :

$$\Delta h + \Delta e_c + \Delta e_p = w_u + q$$

$\Delta e_c$  et  $\Delta e_p$  souvent négliger.

- 1er Principe Industriel (PPI) version puissance :  $P_i + P_{th} = D_m$

$$(dh + de_c + de_p)$$

- Identifier l'entrée et la sortie.

- Isoler  $w_u$  via la variation d'enthalpie  $\Delta h + \Delta e_c + \Delta e_p = w_u + q$ .

→ si on considère que le fluide ne change pas de vitesse ( $\Delta e_c = 0$ )  
ni d'altitude ( $\Delta e_p = 0$ ) et que le système est isolé thermiquement:

$$\text{alors } \Delta h = w_u + q$$

$$\text{donc } w_u = \Delta h = h_s - h_e$$



02

## • **Systeme fermé :**

Piston échange possible d'énergie avec l'extérieur

- 1ere loi de joule/premier principe :  $\Delta U = W + Q$
- Calculer les variables P, V, T initiales et finales.
- Calculer le travail :  $W = \int -PdV$ .
- En déduire Q avec  $\Delta U$ .



03

## -Système isolé :

aucune interaction avec l'extérieur Pas d'échange d'énergie, pas de travail ni de chaleur (Vérifier si l'énoncé dit "Isolé" ou "Calorifugé et de volume constant".)

- Poser immédiatement :  $Q=0$  et  $W=0$ .
- En déduire que  $\Delta U=0$  ou  $\Delta H=0$ .



## Rendement/efficacité :

- Identifier ce qui est utile et ce qui est coûteux ( $\eta = \text{utile} / \text{coûteux}$ )
- Moteur :  $\eta_{\text{mot}} = -W / (Q_c) \leq 1$
- Pompe à chaleur (P.A.C) :  $e_{\text{PAC}} = -Q_c / W$
- Frigo:  $e_{\text{RF}} = Q_f / w$



**MERCI !**

