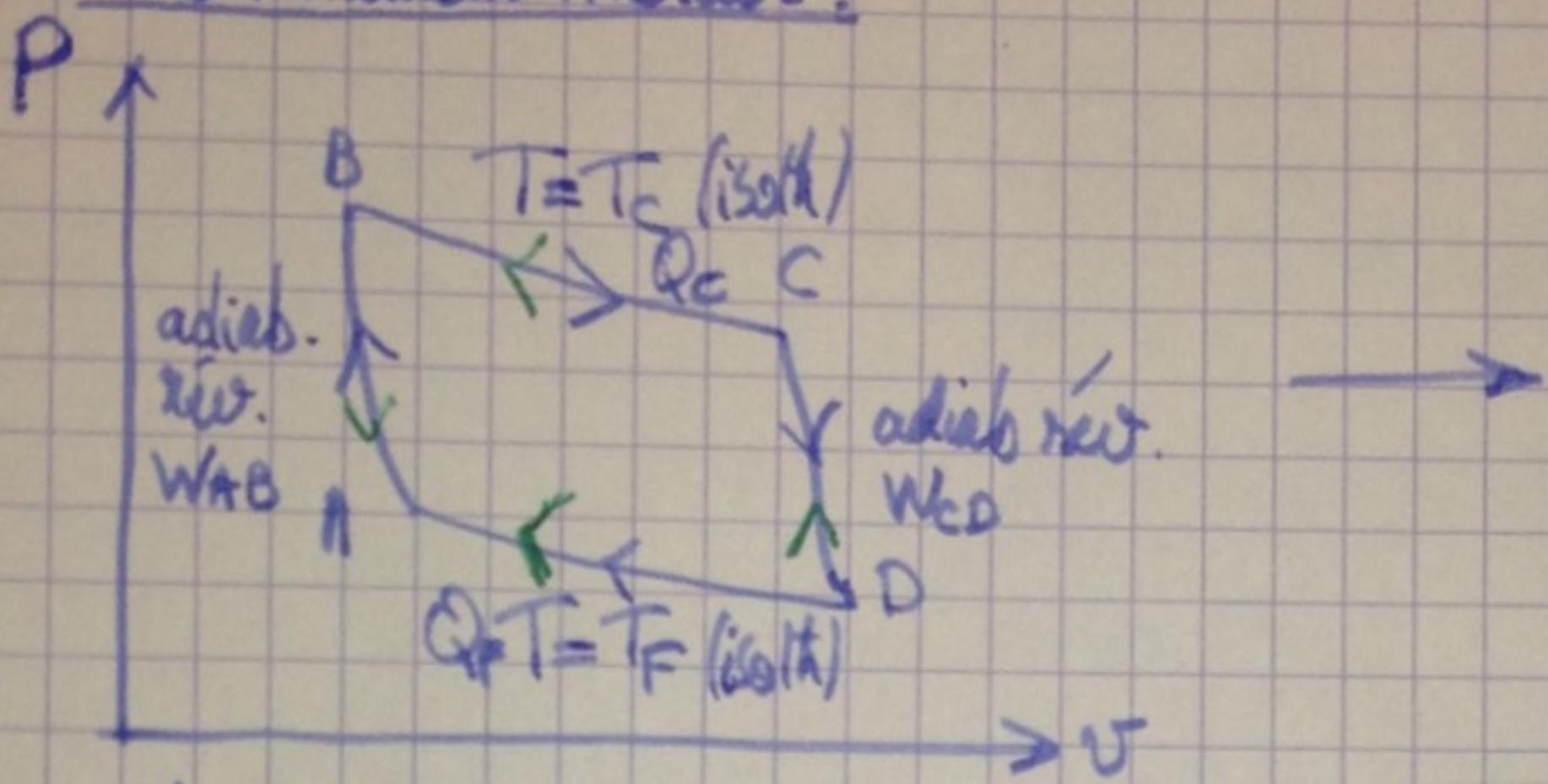


Introduction

- Dans son ouvrage publié en 1824 (Réflexions sur la puissance motrice du feu), Léonard de Vinci a fait l'étude d'une machine thermique théorique ^{à adiab. rév.} ~~adiab. idéale~~ : Fonctionnement moteur :

à développer cette puissance
et aux machines propres



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

Le rendement du cycle de Carnot
indépendant de la nature du fluide
et suppose l'inversibilité de
chaque des transformations.

Le moteur de Carnot ne nécessite que 2 surfaces thermiques: l'une dite chaude (T_c)
l'autre froide (T_f). On met le fluide tout à tour en contact thermique parfait avec
les sources. (Isothermes). Entre les Isothermes, on laisse le fluide (isolé thermiquement)
se détendre ou se comprimer (adiabatique).

* Dans cette leçon, on se demandera si un tel cycle est réalisable en pratique,
quelles sont les limites du cycle de Carnot, on étudiera quelques solutions pratiques
permettant de créer du travail mécanique (moteur) + ~~réaliser~~ machines frigorifique.

Prérequis : (cf slides)

→ 1^{er} & 2nd principe

→ 1^{er} principe appliquée à système

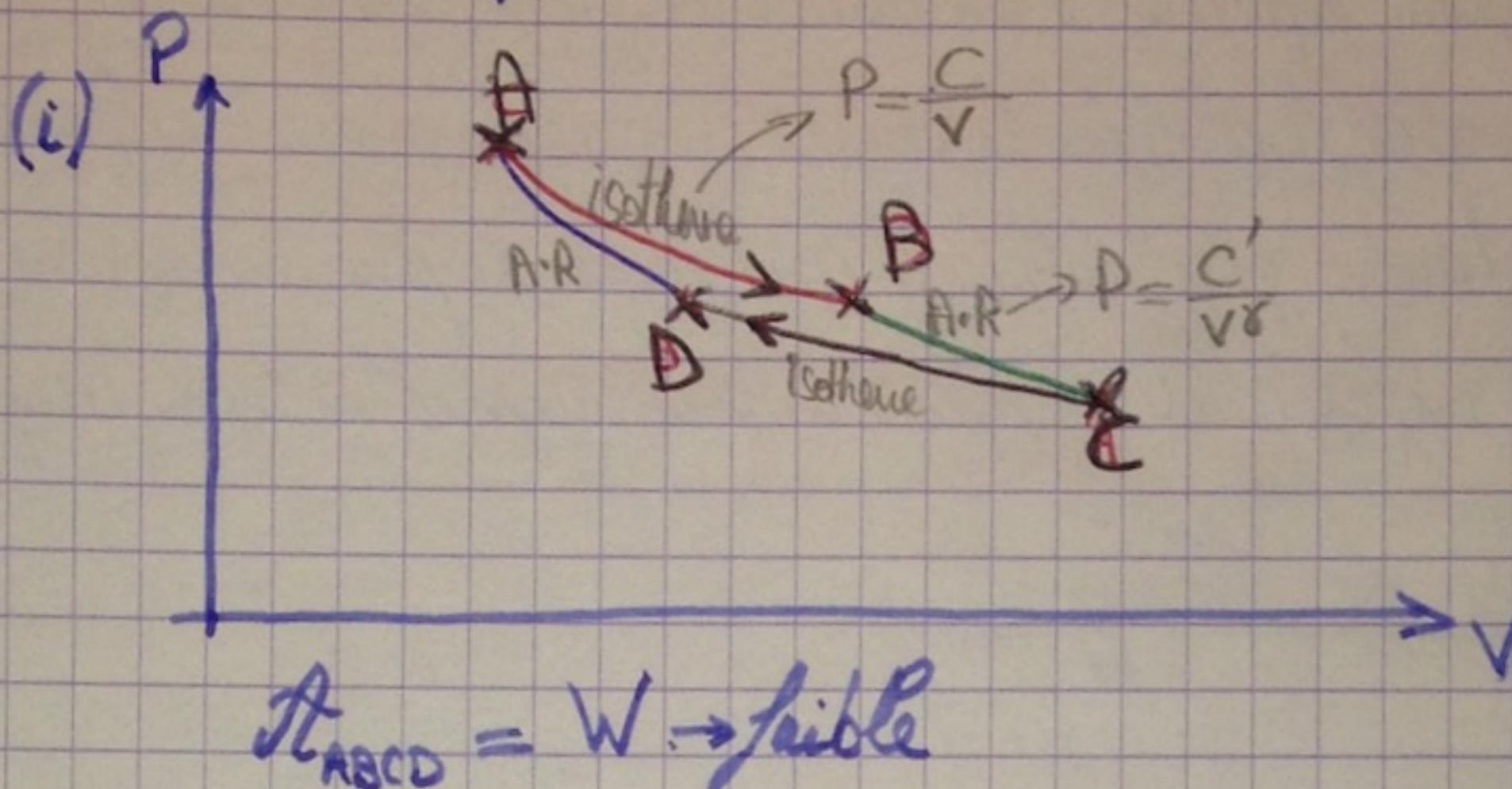
→ Cycle de Carnot, rendement, efficacité, Léonard de Vinci, cycle moteur, cycle réversible

→ Transformations de γ

→ rendement, efficacité

I- Du moteur de Carnot au moteur de Stirling

I-1. Limites pratiques du moteur de Carnot pour les installations à gaz



On considère un gaz parfait diatomique suivant un cycle de Carnot.
 $\gamma \approx \frac{7}{5} = 1,4$
 ↳ indice adiabatique.

Alors le cycle ΔP , ΔT , ΔV : machine très grande

↳ varies T , P grande

↳ défi: installations doivent supporter de telles variations pour un résultat médiocre.

(ii) Avantage nécessaire η est max.

$A \rightarrow B$ } isotherme $B \rightarrow C$ } réversible $C \rightarrow D$ } réversible $D \rightarrow A$ } isotherme $\rightarrow T_{\Sigma} = T_{\text{ext}} \Rightarrow Q$: échange thermique très lents.

(théorie infinitésimale)

La puissance P est nulle !

I-2 Présentation du moteur de Stirling

- Σ : gaz compris dans ce cylindre (assimilé à GP)
- Principe de base : On comprime le gaz quand il est froid ce qui coûte peu puisque (P faible)

• On le chauffe et on récupère un travail en le détendant
 $W < 0$

- Comment faire passer le gaz de la source chaude à la source froide ?

→ Piston déplaçeur : déplacer le gaz d'une source de chaleur à l'autre.

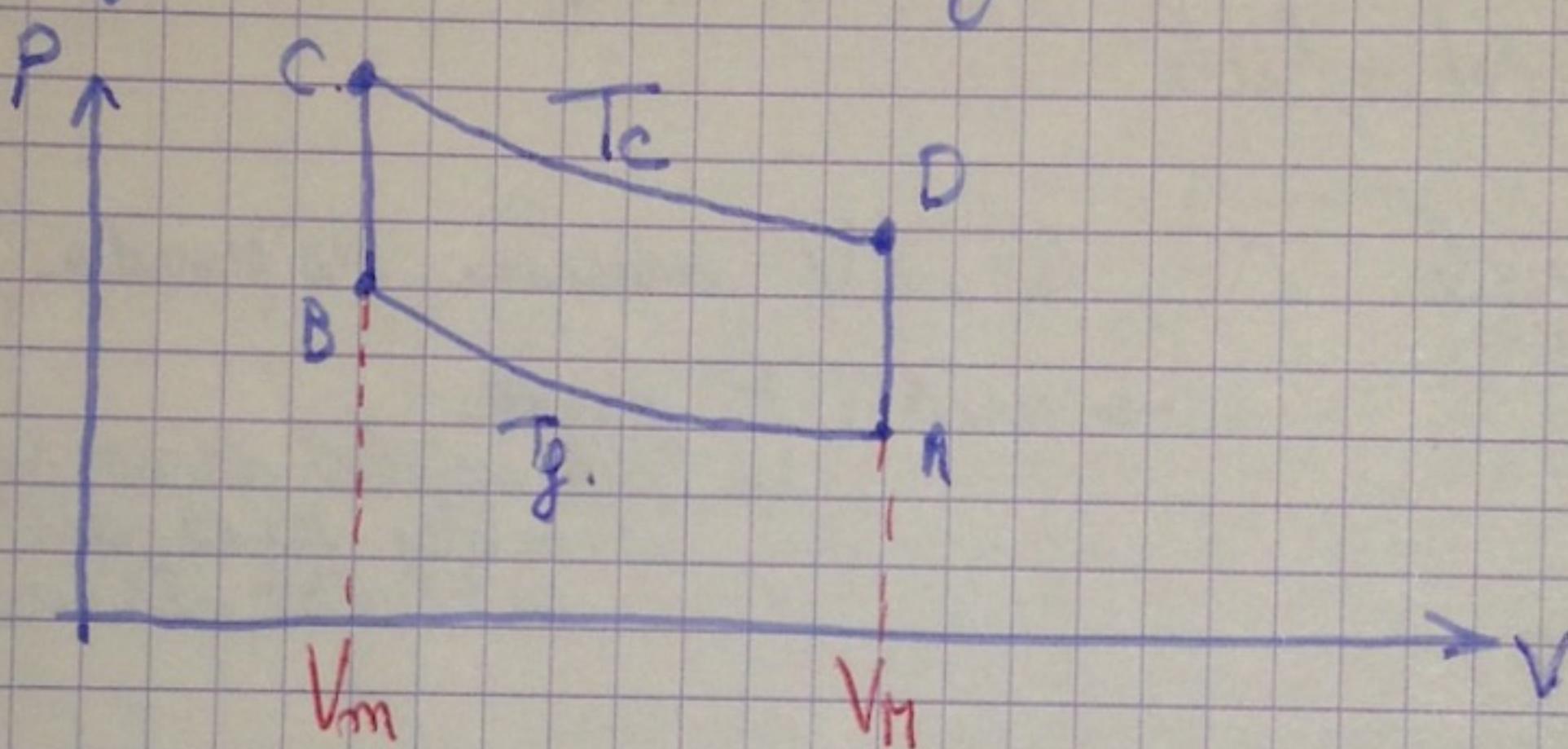
→ Piston moteur : modifier le volume des pression.

→ Modélisation du mouvement des pistons.

On remarque que les deux pistons n'ont pas un mouvement synchrones. Le déphasage de $\frac{\pi}{2}$ est la conséquence d'un couplage intelligent sur le ressort. Le piston déplaceur a une avance de $\frac{\pi}{2}$ par rapport motrice.

Normalement, le modèle le plus fidèle serait une sinusoïde. Cependant nous sommes contents pour calculer le rendement de faire une approximation \Rightarrow mouvement trapézoïdal. (quand un piston bouge, l'autre ne bouge pas)

I.3 Cycle du moteur de Stirling



I.4 Étude du fonctionnement

A \rightarrow B: Tr isotherme.

Loi de Joule:
1^{er} principe

cf Physique PCSI Michel de Boeck
P 616 exercice 17.3

$$\Delta U_{AB} = 0 \quad \frac{V_B}{V_A}$$

$$Q_{AB} = -W_{AB} = \int_{V_A}^{V_B} P_{ext} dV = \int_{V_A}^{V_B} mRT_B \frac{dV}{V} = mRT_B \ln \frac{V_B}{V_A}$$

B \rightarrow C : Tr isochore :

Loi de Joule: $\Delta U_{BC} = mC_v \ln(T_C - T_B)$

1^{er} principe: $Q_{BC} = mC_v \ln(T_C - T_B)$

$W_{BC} = 0$

C \rightarrow D: Tr isotherme: $\Delta U_{CD} = 0$

$$Q_{CD} = -W_{CD} = mRT_C \ln \left(\frac{V_M}{V_m} \right)$$

D \rightarrow A: Tr isochore

$$Q_{DA} = mC_v \ln(T_B - T_C)$$

$W_{DA} = 0$

$$\eta = -\frac{W}{Q_{SC} + Q_{DA}} = \frac{m(RT_C - T_B) \ln \left(\frac{V_M}{V_m} \right)}{mC_v \ln(T_C - T_B) + m(RT_C) \ln \left(\frac{V_M}{V_m} \right)}$$

$$= \frac{T_C - T_B}{C_v \ln(T_C - T_B) + T_C}$$

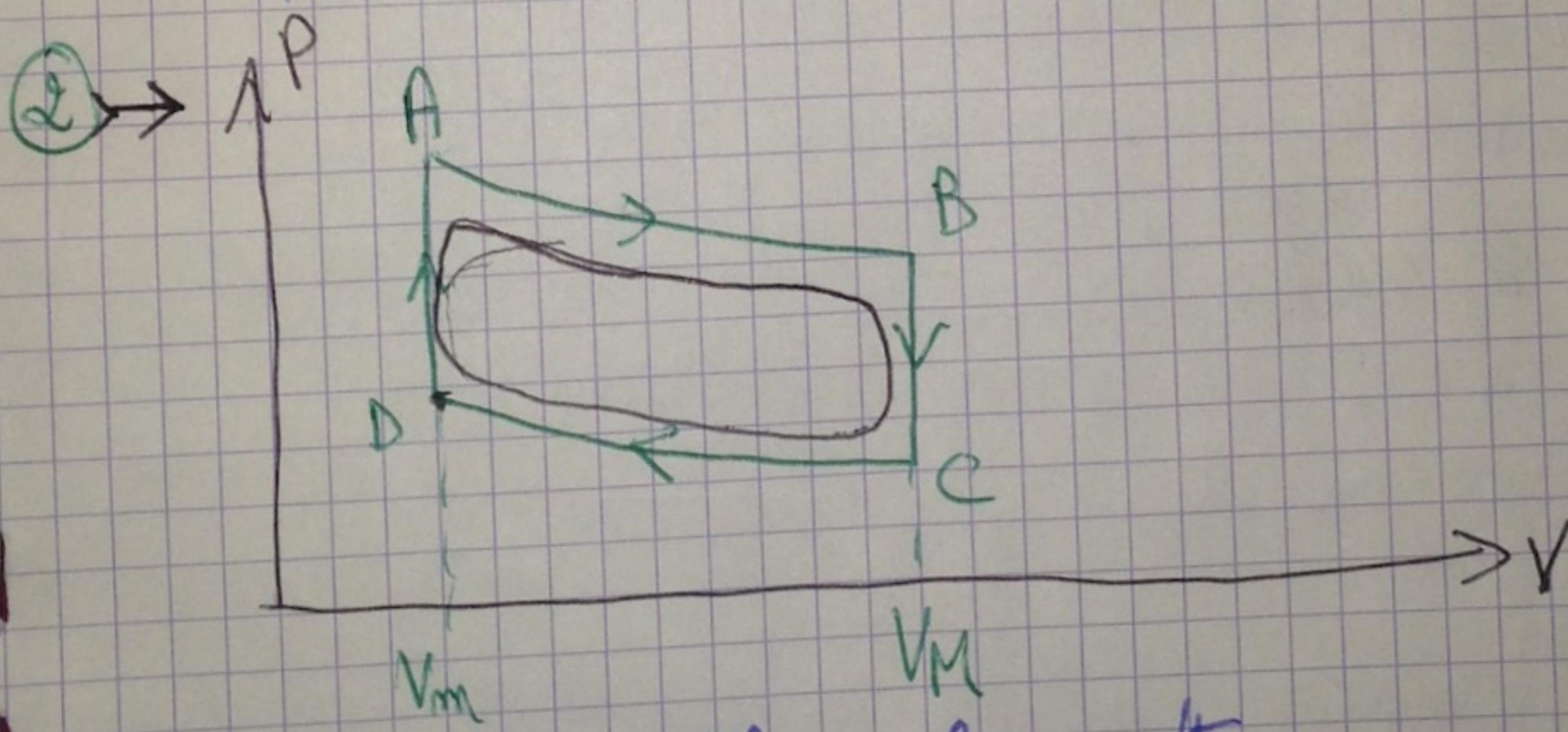
$$\leq \frac{T_C - T_B}{T_C} = \eta_{max}$$

Il y a de l'inévitabilité dans le cycle:

Phase isotherme : Le système à T_F est mis en contact avec G source chaude. Transfert inévitable

I.5 Critique du modèle et du moteur (Discussion)

- ④ → Pertes d'énergie de la source de chaleur dont les transferts thermiques ne s'effectuent pas exclusivement avec le système mais aussi avec l'air ambiant. [moteur à combustion: transfert à lieu directement dans le cylindre]
- ① → On ne peut pas aider ~~la fonction~~ au fonctionnement. Approximation hypothétique pas évidente. Uniforme dans le système. faux
- ③ → Inutile: long à démarer, fait échauffer Pas d'explosion brusque des gaz.

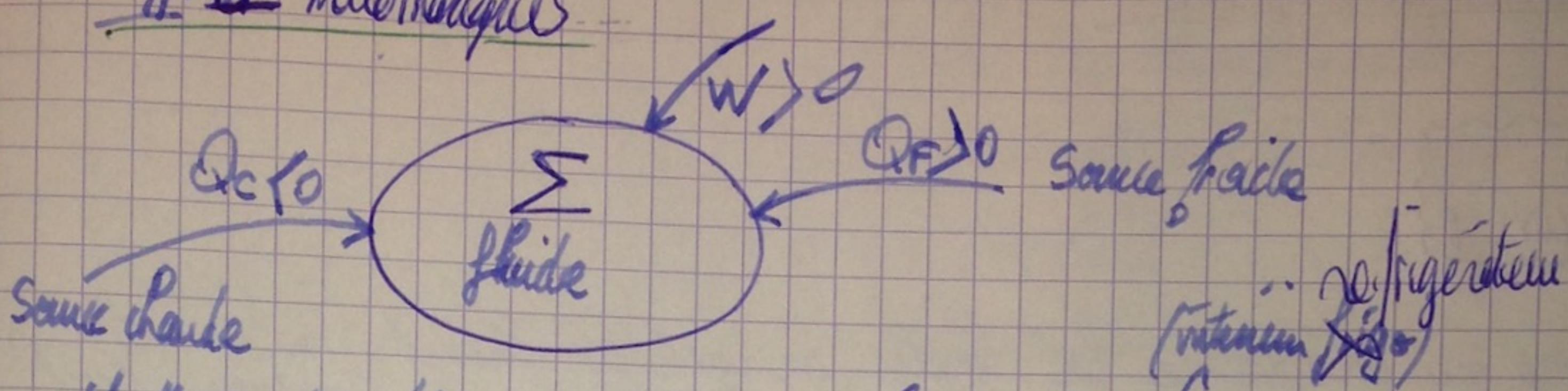


I-6 Rendement réel avec la maquette

A faire...

II- Machine Frigorigénique réel

II.1 Réalités



Le fluide doit prélever de l'énergie de la source froide et donner de l'énergie à une source chaude (extérieur)

Pb : Comment effectuer des transferts thermiques importants sans faire varier de façon importante la température du fluide \Rightarrow redonner des irréversibilités. Th

\rightarrow Expliquer les transitions de phases:

\rightarrow si isobare $\rightarrow T \propto t$ \Rightarrow on peut s'arranger pour être à T suffisamment proche de la T de l'extérieur pour minimiser l'irréversibilité
transferts de phases

\rightarrow Les transferts thermiques sont génotropiques :

- $\text{P } 1^\circ\text{C} \quad 1\text{kg d'eau} \rightarrow 4,18 \text{ kJ} \times 540$
- $1\text{kg d'eau liquide à vapeur} \rightarrow 2300 \text{ kJ} (\text{à } 100^\circ\text{C})$

\rightarrow Il faut trouver un fluide capable de se vaporiser à -10°C et de se condenser à 20°C .

1,1,1,2 Tetrafluoréthane. R134A

II-2 Présentation du cycle du réfrigérateur (slide)

II-3 Calcul de l'efficacité (slide)

Conclusion :

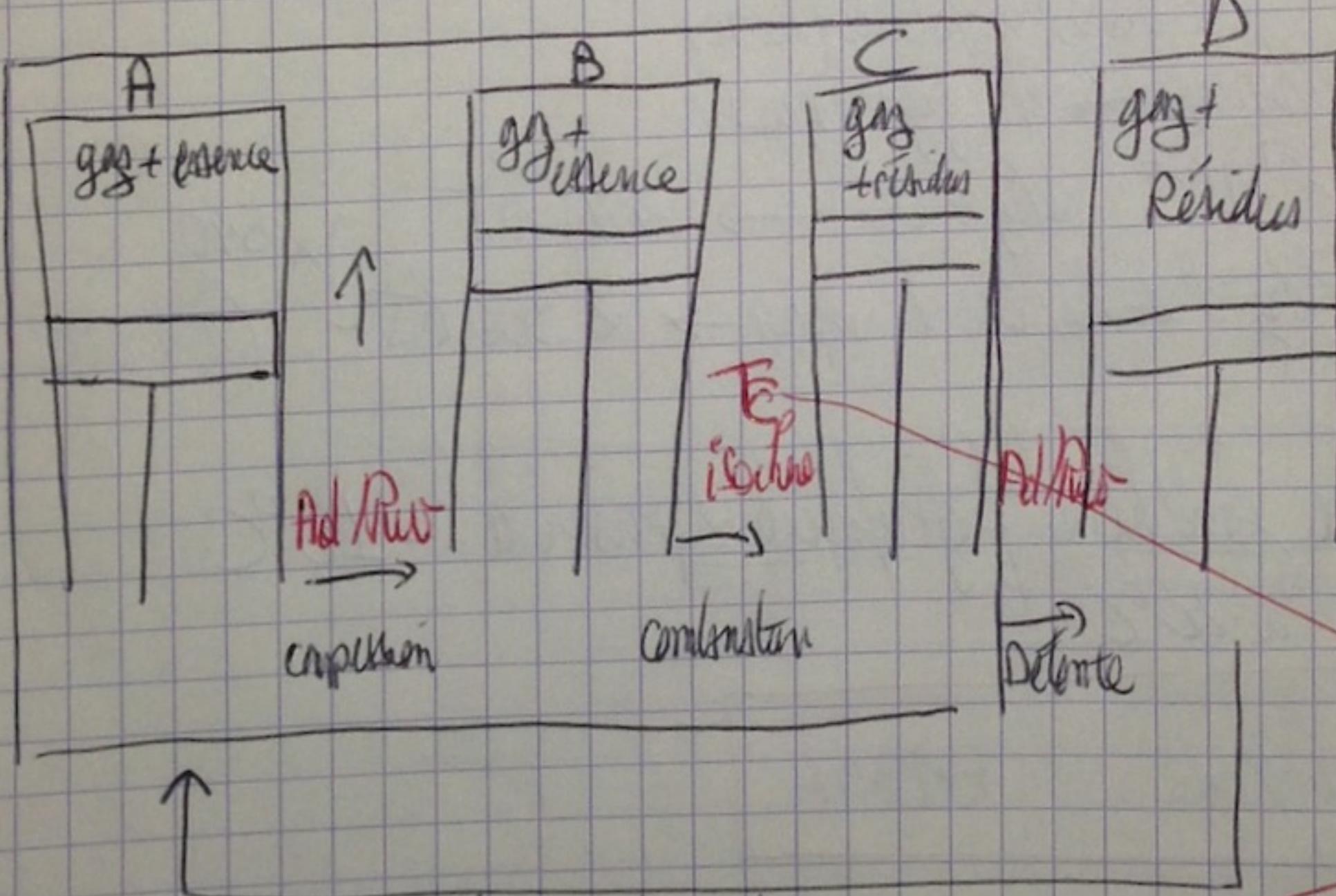
- Nous avons mis en évidence les limites du cycle de Carnot ($P = 0$ optimisé) et ($T_{ext} \rightarrow 0$)
- Pour $\rightarrow P \rightarrow$ irréversibilité lors du contact entre source chaude et source froide.

• Enzo :

Moteur de Stirling → ↳ sous marin car silencieux
pas d'explosion

→ ↳ moteur rotatif

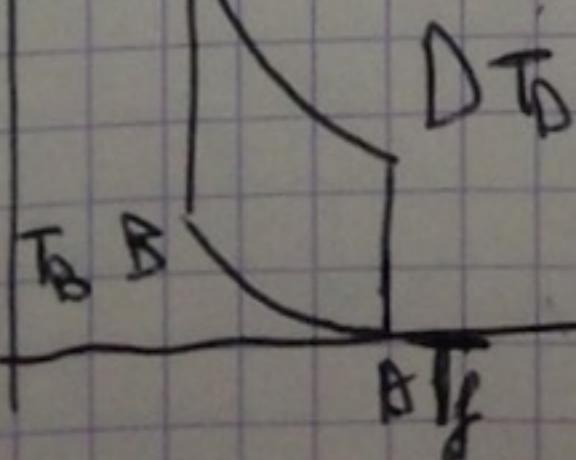
à explosion



Echappement admission
isotherme T_f

modélisé
par max en contact
d'enthalpie
 T_c / T_f

P
 $C T_c$



Réversible

Questions de Nicolas Lambe

1) Définition de machine thermique. **IMPORTANT!**

Mécanisme qui fait subir à un fluide des transformations cycliques au cours desquelles le fluide échange avec l'extérieur de l'énergie sous forme de travail et de chaleur [wiki]

Important cyclique : une certaine minute échange de la chaleur si resté à turbine, produit du travail. Mais pas de cycle donc pas machine thermique.

2) Pour un moteur diatherme peut-on faire mieux que le rendement de Carnot ? Pourquoi ? On pourrait pas imaginer un autre cycle où on obtienne ce rendement ?

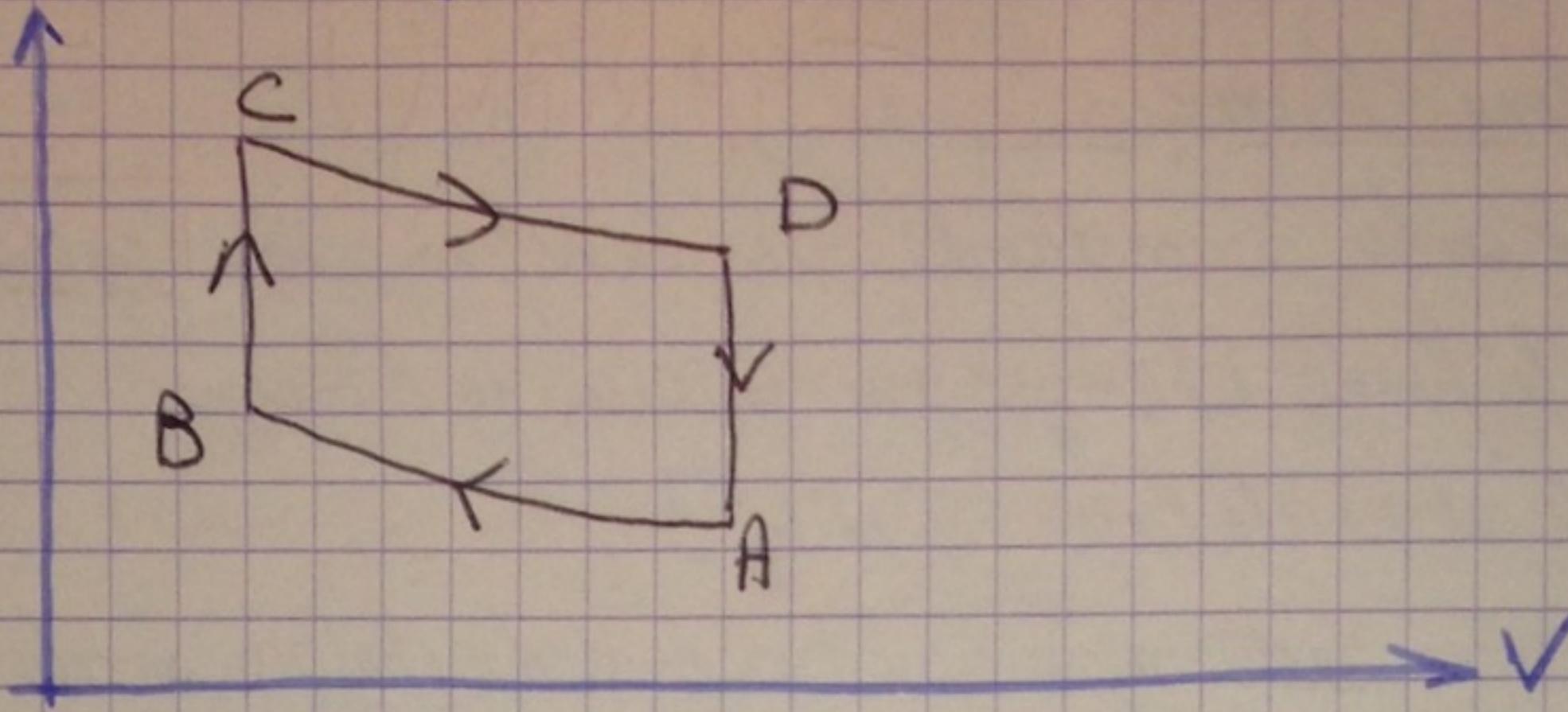
Démonstration : $\eta \leq \eta_C$ (Premier et 2nd principe)

η_C est obtenu pour un cycle irréversible :

- Donc lorsque le fluide est en contact de la source chaude (resp. source froide), il doit être à l'équilibre donc à T_{chaud} (resp. T_froid).
Donc on a des isothermes.

- De plus, pour passer d'un isotherme à l'autre on ne peut pas le faire de manière reversible si échange avec les sources de chaleurs
Donc adiabatique irreversible pour les autres transformations.
 \Rightarrow Le cycle de Carnot est le seul cycle diatherme réversible.

3-7 Rôle des régénérateurs dans le moteur de Stirling.



$$Q_{BC} = mC_v \ln(T_C - T_B) \quad \Rightarrow \quad Q_{BC} = -Q_{DA}$$

$$Q_{DA} = mC_v \ln(T_B - T_D)$$

Q_{DA} est le transfert thermique avec source froide. Donc perdu.

L'idéal serait de transférer Q_{DA} au régénérateur qui le régénère lors de Q_{BC} .

$$\gamma = \frac{-W}{Q_{BC} + Q_{DA}} = \frac{R(T_C - T_B) \ln(\frac{V_B}{V_C})}{R(T_B - T_D) \ln(\frac{V_B}{V_D})} = \frac{T_C - T_B}{T_B - T_D} = \gamma_C$$

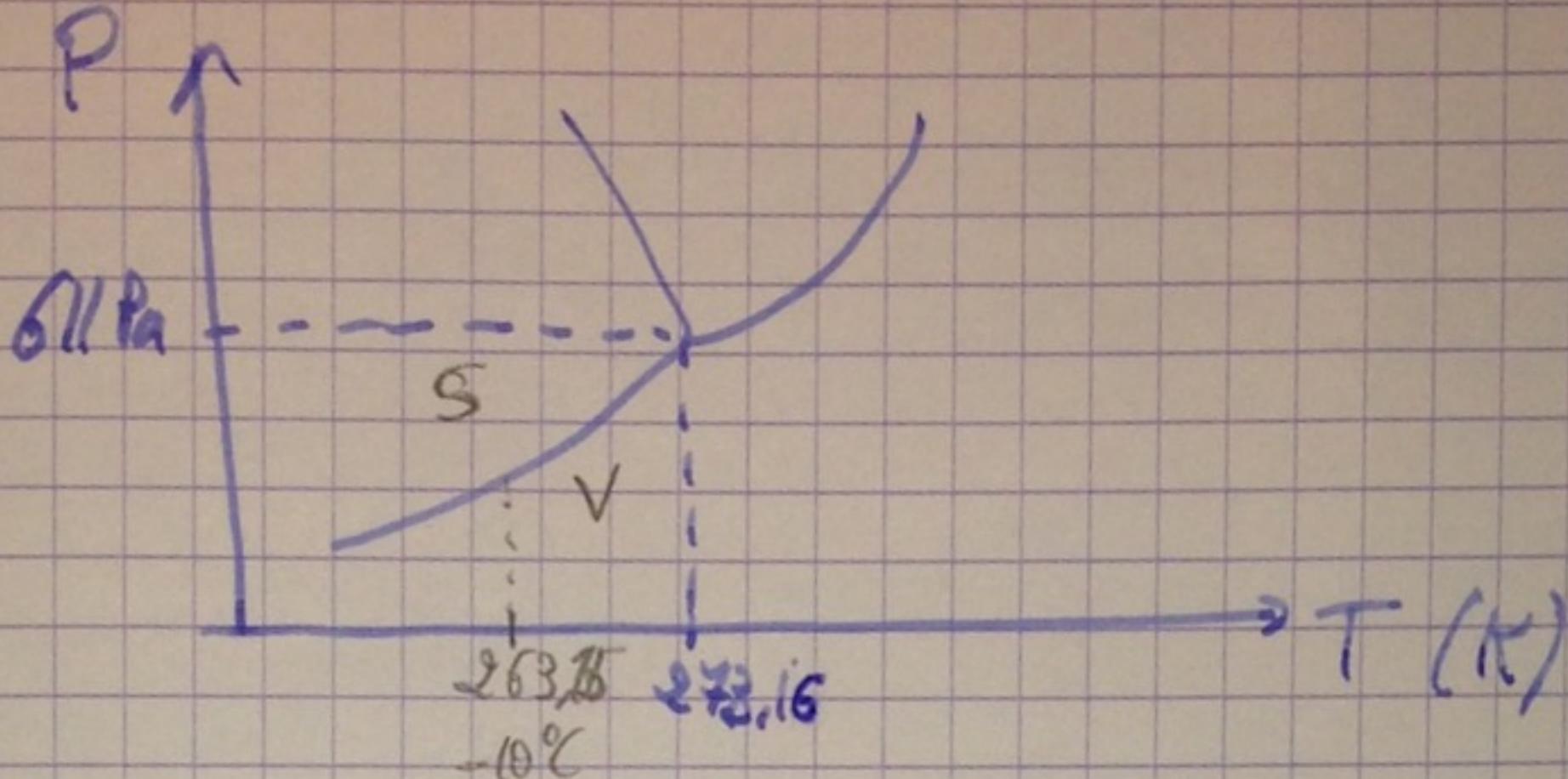
→ car on ne le paie plus, c'est donné par le régénérateur (idéalement).

⇒ Le rôle du régénérateur est de 'emmagasiner une partie des transferts thermiques qui aurait été perdu au contact de la source froide et de le redonner lors de la transition B → C. Ainsi, Q_{BC} n'est plus payant car donné par le régénérateur.

Donc on atteint le rendement de Carnot.

Le système [fluide + régénérateur] évalue de manière meilleure.

4-) Pourquoi pas possible de vaporiser l'eau à -15°C ?



Pas possible d'avoir une transition liquide-vapeur pour l'eau à -15°C .

5-) Pourquoi le moteur de Stirling ne peut pas être utilisé dans ma voiture ?

Pour accélérer le cycle de Stirling, il faut chauffer. \rightarrow inefficacité

On ne peut pas passer de 80 km/h à 110 km/h de manière rapide.

6-) Energétiquement, Stirling est-il + intéressant que le moteur à explosion ?

Oui car grâce au régénérateur, on atteint un rendement proche de Carnot.

7-) Démontre moi le 1^{er} principe pour un écoulement permanent.

Démo CAP Prépa PC Révisé p338 chapitre Dynamique des systèmes inéquilibrés
II.2