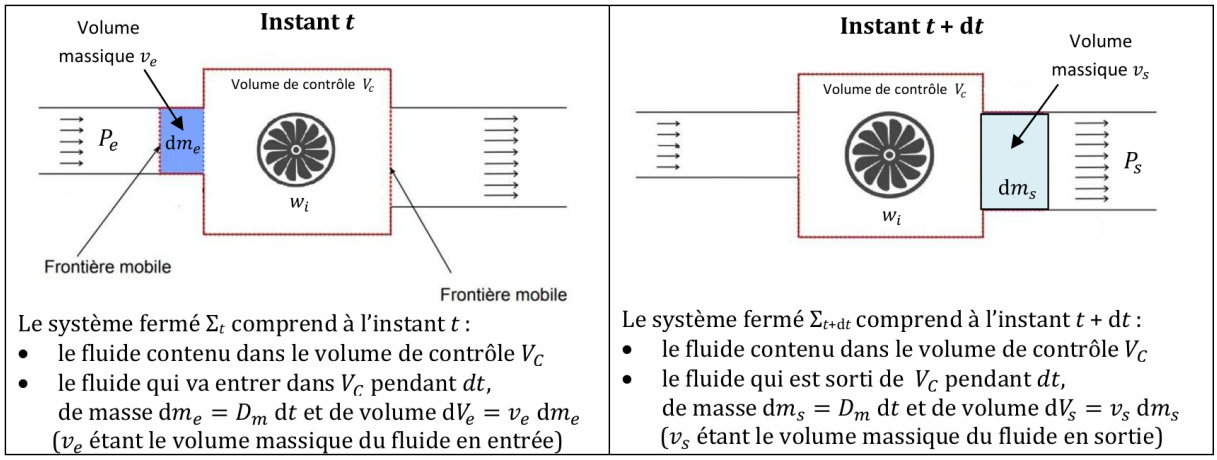
1 Établissement du 1er principe industriel

On rappelle l'expression différentielle du 1er principe généralisé s'appliquant à un système fermé :

$$\mathrm{d}E = \mathrm{d}E_p + \mathrm{d}E_c + \mathrm{d}U = \delta W_{\text{pression}} + \delta W_{\text{indiqué}} + \delta Q$$

On souhaite établir le premier principe industriel s'appliquant aux systèmes ouverts en régime stationnaire, qui pourra donc s'appliquer à chacun des éléments d'une machine thermique à écoulement. Pour ce faire, on isole par la pensée une tranche de fluide traversant l'un des éléments. On suit ce système Σ devenu fermé entre les instants t et $t + \mathrm{d}t$ suivant les schémas ci-dessous.



Le système fermé Σ_t comprend à l'instant t :
- le fluide contenu dans le volume de contrôle V_C
- le fluide qui va entrer dans V_C pendant dt, de masse $\mathrm{d}m_e = D_m\,\mathrm{d}t$ et de volume $\mathrm{d}V_e = v_e\,\mathrm{d}m_e$ (v_e étant le volume massique du fluide en entrée)

Le système fermé $\Sigma_{t+\mathrm{d}t}$ comprend à l'instant $t + \mathrm{d}t$:
- le fluide contenu dans le volume de contrôle V_C
- le fluide qui est sorti de V_C pendant dt, de masse $\mathrm{d}m_s = D_m\,\mathrm{d}t$ et de volume $\mathrm{d}V_s = v_s\,\mathrm{d}m_s$ (v_s étant le volume massique du fluide en sortie)

On note A une grandeur extensive caractérisant l'état du fluide (comme ses énergies potentielle, cinétique, interne ou encore son enthalpie) et a_s et a_e les quantités massiques de cette grandeur A relatives respectivement aux éléments $\mathrm{d}m_s$ et $\mathrm{d}m_e$.

On utilisera la propriété suivante des systèmes ouverts en régime stationnaire : leurs grandeurs extensives (masse, énergies...) sont indépendantes du temps.

1. En exploitant la conservation de la masse du système fermé, montrer que $dm_e = dm_s$. On pourra noter dm cette masse dans la suite.
2. Montrer que la variation d'énergie totale $\mathrm{d}E$ du système pendant $\mathrm{d}t$ ($\mathrm{d}E = E(\Sigma_{t+\mathrm{d}t}) - E(\Sigma_t)$) se résume à :
$$\mathrm{d}E = e_s\,\mathrm{d}m_s - e_e\,\mathrm{d}m_e$$
3. En notant P_e la pression du fluide en entrée et P_s celle du fluide en sortie, justifier que le travail des forces pressantes $\delta W_{\text{pression}}$ reçu par le fluide pendant $\mathrm{d}t$ s'écrit :
$$\delta W_{\text{pression}} = P_e\,v_e\,\mathrm{d}m_e - P_s\,v_s\,\mathrm{d}m_s = (P_e\,v_e - P_s\,v_s)\,\mathrm{d}m$$
4. En utilisant la définition de l'enthalpie, conclure sur la forme prise par le 1er principe sur le système ouvert (entre l'entrée e et la sortie s) en régime stationnaire, dit 1er principe industriel :
$$\Delta_{e,s}(e_p + e_c + h) = w_i + q$$
Préciser la signification et l'unité de w_i et q.

2 Chambre froide (d'après centrale TSI 2023)

On se propose dans cette partie d'étudier une machine frigorifique permettant de maintenir une chambre froide à basse température. Le fluide réfrigérant utilisé dans la machine est du R134a. Pour les futures constructions, le fluide sera du R1234ze pour sa moindre contribution à l'effet de serre.

2.1 Généralités

Le fluide réfrigérant décrit le cycle thermodynamique décrit en figure 1.
On modélise la machine frigorifique par une machine ditherme schématisée en figure 2.
On utilise les notations suivantes :
Q_c : transfert thermique algébriquement reçu par le fluide au cours d'un cycle de la part de la source chaude à la température T_c.
Q_f : transfert thermique algébriquement reçu par le fluide au cours d'un cycle de la part de la source froide à la température T_f.
W : travail algébriquement reçu par le fluide au cours d'un cycle de la part de l'extérieur.

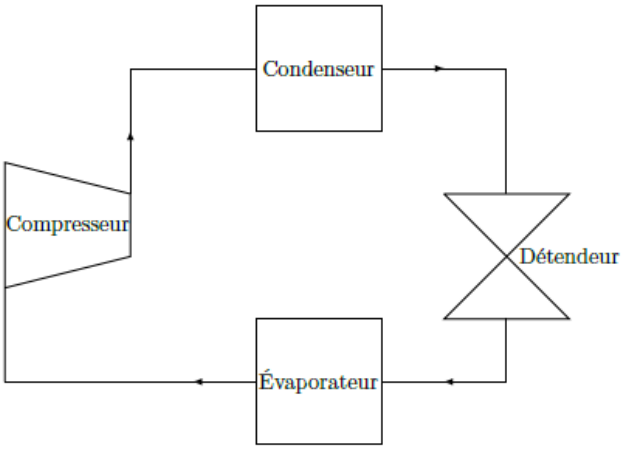


Figure 1

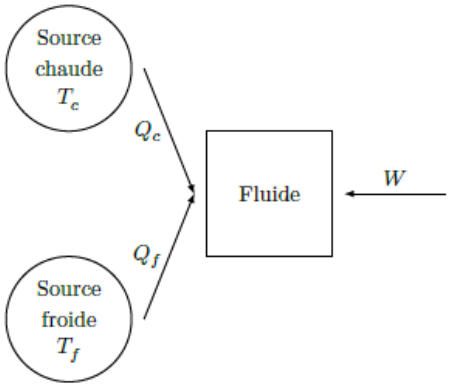


Figure 2

1. Au niveau de quel organe de la machine thermique se trouve la chambre froide ? Justifier votre réponse. Définir l'efficacité e (également appelé COefficient de Performance COP) de la machine frigorifique.
2. Établir l'expression de l'efficacité de Carnot e_{Carnot}, en fonction de T_c et T_f . Que peut-on dire l'efficacité réelle e par rapport à l'efficacité de Carnot e_{Carnot} ?
3. Calculer numériquement e_{Carnot} avec T_c = 45°C et T_f = 3°C. Interpréter le résultat obtenu.

2.2 Description du cycle

Le cycle comprend les successions de transformations suivantes :
1 → 2 : compression adiabatique réversible en phase gazeuse dans le compresseur ;
2 → 3 : refroidissement isobare de la vapeur ;
3 → 4 : compression totale et isobare ;
4 → 5 : sous-refroidissement isobare ;
5 → 6 : détente isenthalpique ;
6 → 7 : chauffage isobare ;
7 → 1 : surchauffe de la vapeur.

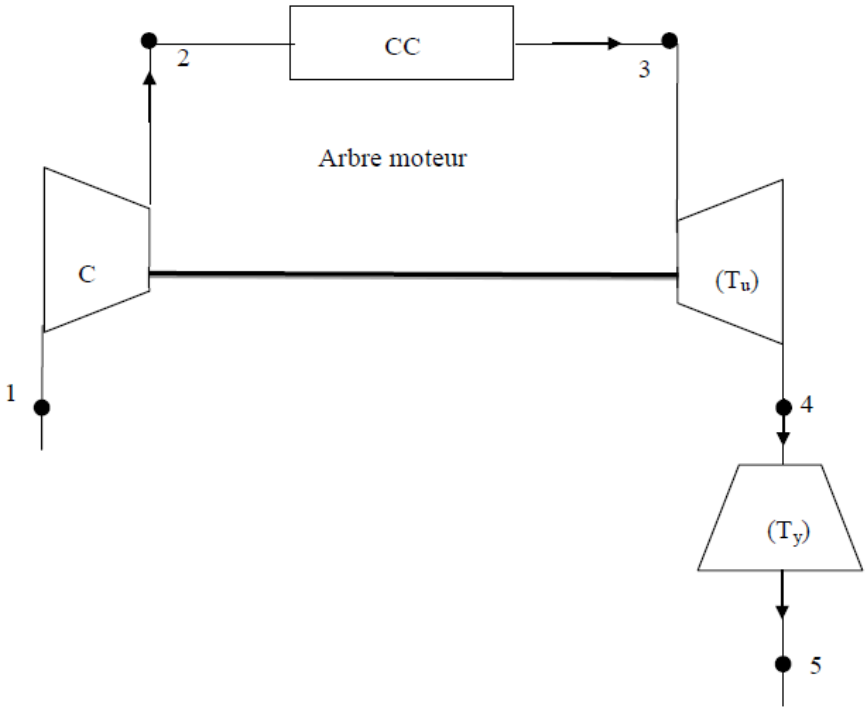
Le tableau ci-dessous donne le relevé thermodynamique du fluide aux différents points de ce cycle.

Point du cycle	Pression P (bar)	Température T (°C)	Enthalpie massique h ($kJ \cdot kg^{-1}$)	Débit massique D_m ($kg \cdot s^{-1}$)
1	2,7	3,0	402	0,16
2	11,6	63,1	442	0,16
3	11,6	45,0	421	0,16
4	11,6	45,0	264	0,16
5	11,6	40,0	256	0,16
6	2,7	−2,0	256	0,16
7	2,7	−2,0	397	0,16

4. Représenter le cycle thermodynamique sur le diagramme des frigoristes (figure A du document réponse).
5. Relier le sens de parcours du cycle au mode de fonctionnement de la machine.
6. Qualifier l'état du fluide aux points 3 et 4.
7. Lire graphiquement le titre en vapeur x_v du point 6.
8. Rappeler l'expression du premier principe de la thermodynamique pour un fluide en écoulement stationnaire, dans lequel on néglige les variations d'énergie cinétique massique et d'énergie potentielle de pesanteur massique devant la variation d'enthalpie massique.
9. Exprimer puis calculer numériquement le transfert thermique massique q_f reçu par le fluide dans l'évaporateur.
10. Exprimer puis calculer numériquement le transfert thermique massique q_c reçu par le fluide dans le condenseur.
11. Exprimer puis calculer numériquement le travail indiqué w_i reçu par le fluide de la part du compresseur.
12. En déduire l'efficacité réelle e de la machine frigorifique.
13. Exprimer puis calculer numériquement la puissance thermique extraite de la chambre froide $P_{th,f}$

3 Turboréacteur

La figure suivante donne le schéma de principe d'un turboréacteur qui propulse un avion et fait apparaitre un compresseur (C), une chambre de combustion (CC), une turbine (Tu) et une tuyère (Ty).



Les différentes étapes du fonctionnement sont les suivantes :
1 → 2 : compression isentropique de l'air dans (C).
2 → 3 : combustion isobare du carburant dans (CC).
3 → 4 : détente isentropique des gaz brûlés dans (Tu).
4 → 5 : détente isentropique des gaz dans (Ty).

L'énergie cinétique de l'air sera négligée sauf dans (Ty) et on assimilera les gaz brûlés et l'air à des gaz parfaits. On donne : T_1 = 300 K, T_3 = 1200 K, $P_1 = P_5 = P_0$ = 1 bar, $\tau = P_2/P_1$ = 8, γ = 1,4 et c_p = 1,0 kJ.kg^{-1}.K^{-1}. Le débit massique de l'air dans le turboréacteur est D_m = 65 kg.s^{-1} et le pouvoir thermique du carburant est ϕ = 45 MJ.kg^{-1}.

a. Exprimer le rapport T_2/T_1 en fonction de τ et γ. Calculer T_2.
b. A l'aide du premier principe industriel, exprimer les travaux utiles massiques w_C et w_T échangés dans le compresseur et la turbine. Le travail développé par la turbine lors de la détente des gaz sert à entraîner le compresseur. En déduire la relation : $T_1 + T_3 = T_2 + T_4$. Calculer T_4.
c. Exprimer et calculer la pression P_4.
d. Exprimer et calculer le débit massique D' du carburant dans (CC).
e. Exprimer et calculer la température T_5 ainsi que la vitesse v_S d'éjection des gaz.
f. Le rendement thermique η est défini comme le rapport de l'énergie cinétique du gaz à la sortie de (Ty) et de la chaleur fournie dans (CC). Exprimer et calculer ce rendement.

luametatex 2.0932 20211203 LMTX

Ne rien écrire dans la partie barrée

P065-DR/2023-03-26 23:06:11

Question 38

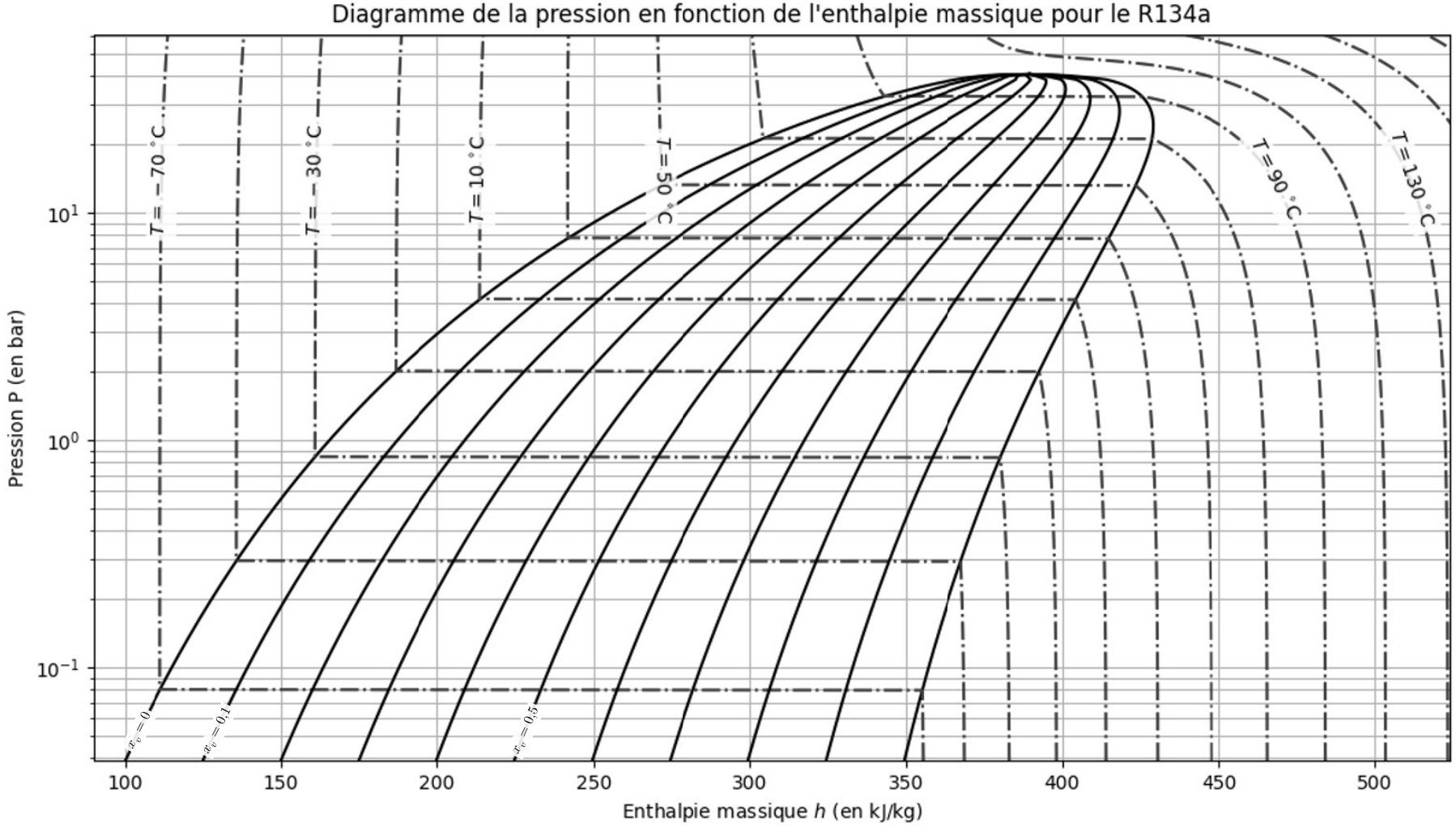


Figure A