3TSI – AP – Révisions du DS3

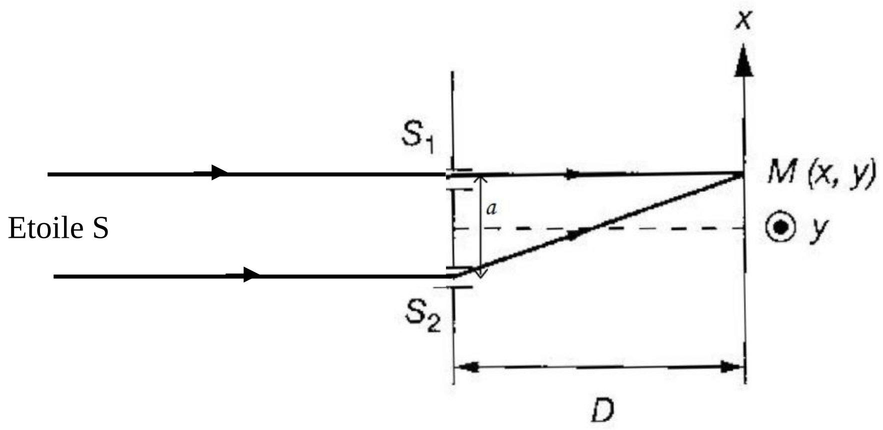
Problème n°1 : Interférences par trous d'Young à 2 sources à l'infini

(Questions 1 à 5 archi-classiques – à maîtriser !)

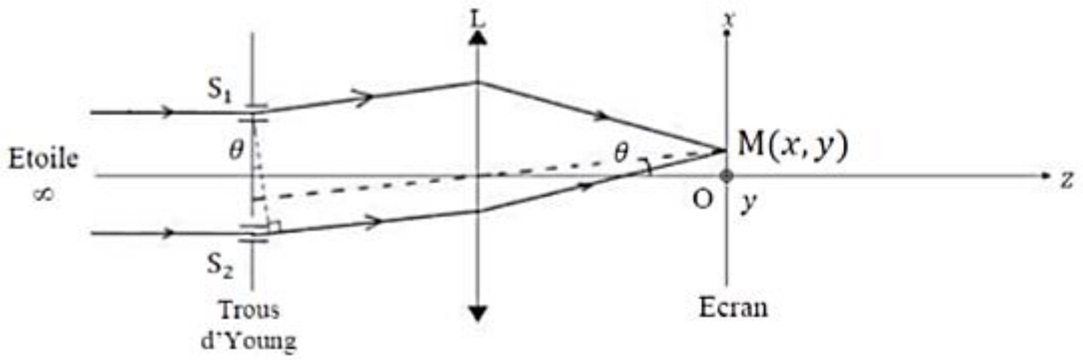
Des trous d'Young (S_1 et S_2) d'écartement a sont éclairés par deux étoiles S et S' (assimilées à deux sources ponctuelles à l'infini, séparées d'un petit angle α).

La lumière provenant des deux étoiles est filtrée, on la considère comme monochromatique de longueur d'onde λ = 590 nm. On observe les interférences sur un écran placé à une distance D = 2,0 m des trous. On note I_0 l'intensité des ondes émises par chacun des trous (on suppose que les deux étoiles présentent la même luminosité).

On considère d'abord la figure formée par la première étoile seule (point S).



1) Rappeler l'expression de la différence de marche $\delta(M)$ entre les 2 ondes issues de S qui atteignent M.
2) Un dispositif expérimental plus compacte correspond à l'utilisation d'une lentille de projection de distance focale f' (schéma ci-dessous). Quelle est dans ce cas l'expression de la différence de marche ?

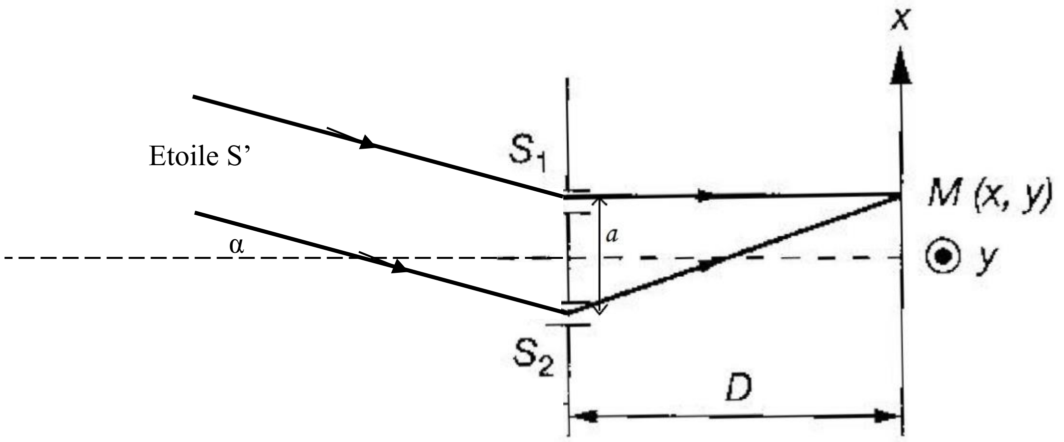


Pour la suite, on revient au dispositif de départ sans lentille.

3) Pour quelles raisons les ondes provenant de S_1 et S_2 sont-elles cohérentes ?
4) On note $s_1(M,t) = s_0.\cos(\omega t - \varphi_1(M))$ et $s_2(M,t) = s_0.\cos(\omega t - \varphi_2(M))$ avec $I_0 = ½ .s_0^2$. Déterminer l'expression de l'intensité lumineuse I(M) sur l'écran en fonction de I_0 et $\Delta\varphi(M) = \varphi_2(M) - \varphi_1(M)$. En déduire l'expression de I(M) en fonction de I_0, a, x, D et λ.
5) En déduire la position x_p de la frange brillante d'ordre p. Quelle est l'expression de l'interfrange i ?

(Partie moins classique, plus difficile)

On considère maintenant la lumière provenant de la 2^e étoile uniquement (point S'), faisant un petit angle α avec l'axe optique.



6) Exprimer la différence de marche δ'(M) entre les deux ondes émises par S', en fonction de a, x, D et α. En déduire l'expression de l'intensité I'(M) lumineuse sur l'écran.
7) Exprimer la nouvelle position x'_p de la frange brillante d'ordre p. Quel est le nouvel interfrange i' de la figure formée par S' ?

8) Exprimer l'intensité totale $I_{tot}(M)$ due à la présence réelle de 2 sources S et S'. On rappelle que les 2 étoiles sont différentes donc correspondent à des sources incohérentes.

On remarque que dans des conditions spécifiques (longueur d'onde, angle α et espacement des trous) les figures d'interférences liées à chacune des sources peuvent être décalées d'un demi-interfrange, provoquant alors le brouillage de la figure sur l'écran : les franges brillantes formées par S correspondent aux franges sombres formées par S', et les interférences ne sont alors plus visibles sur l'écran.

Problème n°2 : Climatisation d'une voiture (ATS 2012)

Attention ce problème traite de l'utilisation d'un diagramme enthalpique pour utiliser le premier principe industriel. Ce diagramme est hors programme mais est donné au concours….

La quasi-totalité des véhicules neufs sont aujourd'hui équipés d'une climatisation. Pour refroidir l'air intérieur du véhicule, un fluide frigorigène, l'hydrofluorocarbone HFC connu sous le code R134a, effectue en continu des transferts énergétiques entre l'intérieur, l'extérieur du véhicule et le compresseur.

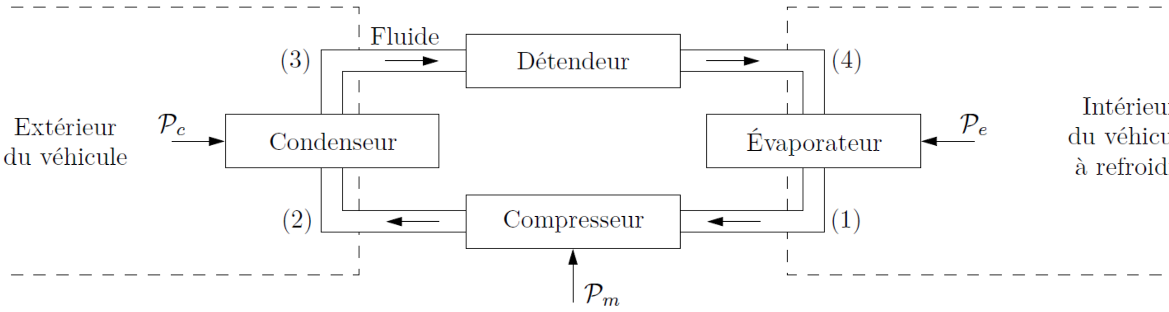


Figure 5 – Structure de la climatisation

Sur le diagramme enthalpique (p, h) (figure 6, document-réponse) de l'hydrofluorocarbone HFC, de masse molaire M = 32 g.mol^{-1} sont représentés :

• la courbe de saturation de l'équilibre liquide-vapeur de l'hydrofluorocarbone HFC (en trait fort)

• les isothermes pour des températures comprises entre −40 °C et 160 °C par pas de 10 °C

• les isentropiques pour des entropies massiques comprises entre 1,70 kJ.K^{-1}.kg^{-1} et 2,25 kJ.K^{-1}.kg^{-1} par pas de 0,05 kJ.K^{-1}.kg^{-1}

• les isotitres en vapeur sous la courbe de saturation pour des titres massiques en vapeur x_v variant de 0 à 1 par pas de 0,1.

• P est en bar et h en kJ.kg^{-1}

1) Indiquer sur le diagramme (document réponse) les domaines liquide, vapeur, équilibre liquide-vapeur du fluide.

On étudie dans la suite l'évolution du fluide au cours d'un cycle en régime permanent. Le débit massique est D_m = 0,10 kg.s^{-1}.

La puissance thermique P_e reçue par le fluide dans l'évaporateur permet la vaporisation isobare complète du fluide venant de (4) et conduit à de la vapeur saturante à température T_1 = 5 ◦C et pression p_1 = 3 bar : point (1).

2) Placer le point (1) sur le diagramme (document réponse). Relever la valeur de l'enthalpie massique h_1 et de l'entropie massique s_1 du fluide au point (1).

Le compresseur aspire la vapeur (1) et la comprime de façon isentropique avec un taux de compression $r = p_2/p_1 = 6$.

3) Déterminer p_2. Placer le point (2) sur le diagramme (document réponse). Relever la valeur de la température T_2 et celle de l'enthalpie massique h_2 en sortie du compresseur.

4) Déterminer la valeur de la puissance P_m du travail mécanique reçu par le fluide lors de son passage dans le compresseur. Commenter le signe de P_m.

Le fluide sortant du compresseur entre dans le condenseur dans lequel il est refroidi de manière isobare jusqu'à la température T_3 = 60 °C : point (3).

5) Placer le point (3) sur le diagramme (document réponse). Relever la valeur de l'enthalpie massique h_3 en sortie du condenseur.

Le fluide sortant du condenseur est détendu dans le détendeur de manière isenthalpique jusqu'à la pression de l'évaporateur p_1 : point (4).

6) Placer le point (4) sur le diagramme (document réponse) et tracer le cycle complet. Relever la valeur de la température T_4 et le titre massique en vapeur x_4 en sortie du détendeur.

7) En déduire la puissance thermique échangée P_e par le fluide lors de son passage à travers l'évaporateur entre (4) et (1). L'air intérieur du véhicule est-il refroidi ?

8) Définir l'efficacité e, ou coefficient de performance, du climatiseur. Calculer sa valeur.

9) Comparer cette valeur à celle d'un climatiseur de Carnot fonctionnant entre la température de l'évaporateur et la température de liquéfaction du fluide sous la pression p_2. Commenter le résultat obtenu.

<u>Indications éventuelles</u> :

Question 1 : le positionnement des phases dans le diagramme (P,h) est identique à celui du diagramme (T,s) car la phase d'enthalpie massique élevée est aussi celle d'entropie massique élevée.

Question 4 : On rappelle le premier principe industriel en termes de puissances :

$D_m.(\Delta h + \Delta e_c + \Delta e_p) = P_{th} + P_i$ avec $\Delta h = h_s - h_e$ variation de l'enthalpie massique entre l'entrée et la sortie

P_{th} puissance thermique reçue par le fluide

P_i puissance mécanique indiquée reçue par le fluide

Question 8 : Efficacité d'un machine frigorifique $e = \frac{Q_f}{W} = \frac{q_f}{w_i} = \frac{P_{th,f}}{P_i}$

Question 9 : L'efficacité de Carnot est obtenue pour un fonctionnement réversible. Utiliser le 1^e et le 2^e principe sur un cycle pour obtenir e_{Carnot}.

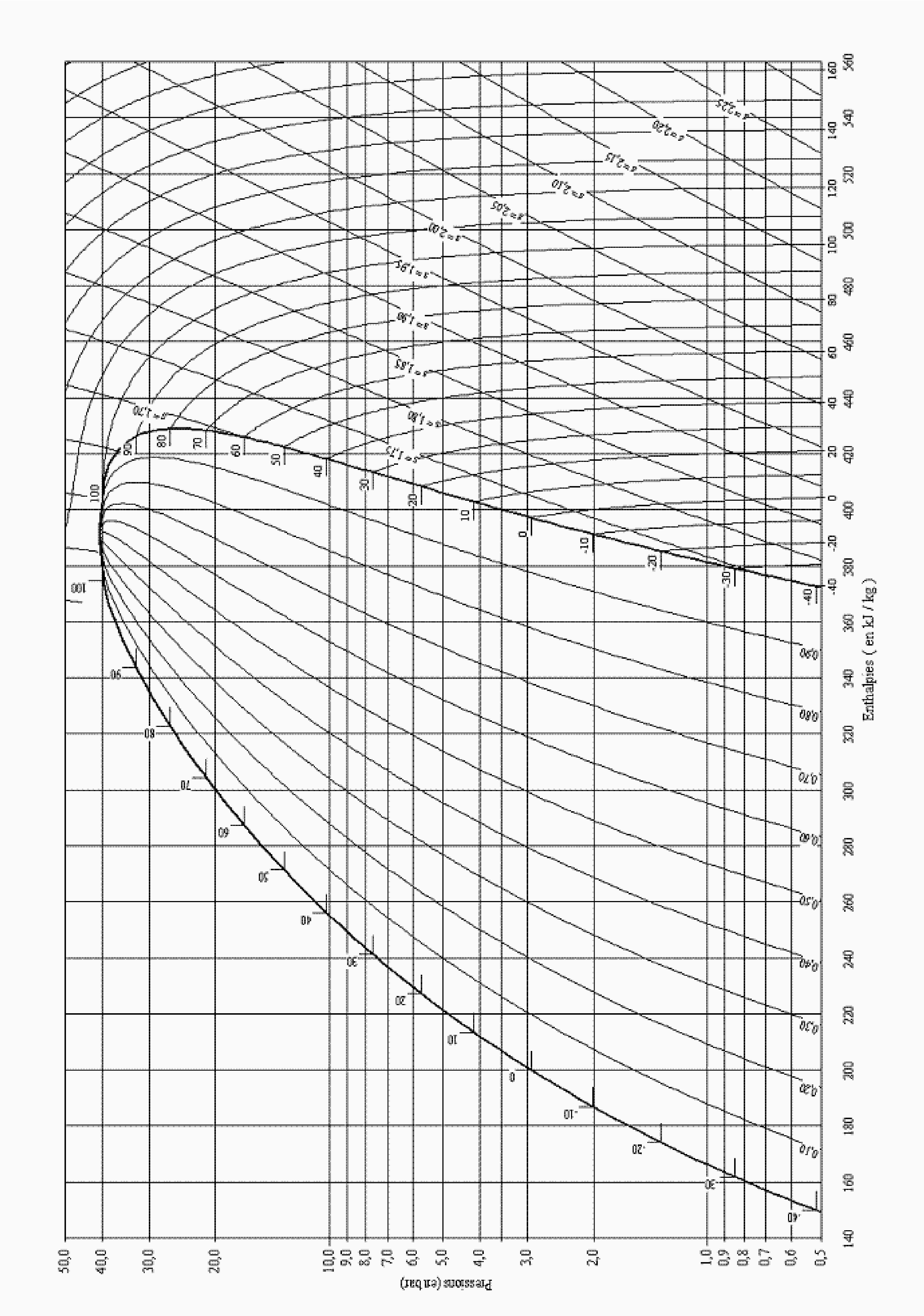


Figure 6 – Diagramme enthalpique de l’hydrofluorocarbone HFC - R134a

Corrigé

1) $\delta(M) = ax/D$ (*à savoir car difficile à démontrer !*)

On peut retrouver cette expression approchée en considérant D très grand

(ainsi les rayons S_1M et S_2M sont quasiment parallèles faisant un angle θ par rapport à l'axe optique).

Alors $\delta(M) = S_2H$ avec H projeté orthogonal de S_1 sur (S_2M).

Au final $\delta(M) = a.\sin\theta \approx a.\theta$ avec $\tan\theta \approx \theta = x/D$. Ainsi $\delta(M) = ax/D$

2) $\delta(M) = (SM)_2 - (SM)_1 = (SS_2) + (S_2H) + (HM) - (SS_1) - (S_1M) = HM = a.\sin\theta \approx a.\theta \approx a\frac{x}{f'}$
3) Ces 2 ondes ont la même fréquence et sont issues de la même source (pas de déphasage aléatoire).
4) $I(M) = \langle s^2(M,t)\rangle = \langle (s_1(M,t) + s_2(M,t))^2\rangle = \langle s_1(M,t)^2\rangle + \langle s_2(M,t)^2\rangle + 2\langle s_1(M,t).\, s_2(M,t)\rangle$

   $I(M) = ½ .s_0^2 + ½ .s_0^2 + 2s_0^2.\langle\cos(\omega t - \varphi_1(M)).\cos(\omega t - \varphi_2(M))\rangle$

   $I(M) = I_0 + I_0 + 4I_0/2.\langle \cos(2\omega t - \varphi_1(M) - \varphi_2(M)).\cos(\varphi_2(M) - \varphi_1(M))\rangle$

   $I(M) = 2.I_0.(1+ \cos(\Delta\varphi(M)))$ (Formule de Fresnel à bien connaître)

   $I(M) = 2.I_0.(1+ \cos(2\pi \frac{ax}{D\lambda}))$

5) Pour la frange brillante d'ordre p, I(M) est maximale donc $\Delta\varphi(M) = 2\pi p$ avec p entier.

   $2\pi \frac{ax_p}{D\lambda} = 2\pi p$ donc $x_p = p\lambda D/a$

   Interfrange $i = x_{p+1} - x_p = \lambda D/a$

6) $\delta'(M) = (SK) + (KS_2) + (S_2M) - (SS_1) - (S_1M)$ avec $(S_2M) - (S_1M) = ax/D$ et K projeté orthogonale de S_1 sur le rayon (SS_2)

   Ainsi $\delta'(M) = ax/D - KS_2 = ax/D - a\alpha$ (en fait $a.\sin\alpha$ avec approximation des petits angles)

   $I'(M) = 2I_0.(1 + \cos(\frac{2\pi}{\lambda}\delta'(M))) = 2I_0.(1+\cos(\frac{2\pi}{\lambda}.(\frac{ax}{D} - a\alpha)))$

7) Pour la frange brillante d'ordre p, I'(M) est maximale donc $\Delta\varphi(M) = 2\pi p$ avec p entier.

   $\frac{2\pi}{\lambda}(\frac{ax'_p}{D} - a\alpha) = 2\pi p$ donc $x'_p = p\lambda D/a + \alpha D$

   Interfrange $i' = x_{p+1} - x_p = \lambda D/a$ inchangé.

8) Pour 2 ondes incohérentes, $I_{tot}(M) = I(M) + I'(M)$

   $I_{tot}(M) = 2I_0.(1+\cos(\frac{2\pi}{\lambda}.(\frac{ax}{D}))) + 2I_0.(1+\cos(\frac{2\pi}{\lambda}.(\frac{ax}{D} - a\alpha)))$

Problème n°2 : Climatisation d’une voiture (ATS 2012)

1) Sur le diagramme, domaine liquide à gauche de la courbe d’ébullition, domaine vapeur à droite de la courbe de rosée, équilibre liquide-vapeur sous la courbe de saturation.
2) h_1 = 397 kJ.kg^{-1} et s_1 = 1,74 kJ.kg^{-1}.K^{-1}
3) p_2 = 18 bar et $s_2 = s_1$. T_2 = 70°C et h_2 = 435 kJ.kg^{-1}.
4) $D_m.(h_2 - h_1) = P_m$ = 3800 W
5) h_3 = 287 kJ.kg^{-1}
6) $T_4 = T_1$ = 5°C et x_4 = 0,44 et $h_4 = h_1$.
7) $D_m(h_1 - h_4) = P_e$ = 11 kW > 0 : le fluide reçoit du transfert thermique provenant de l’intérieur de l’habitacle qui se refroidit.
8) *Efficacité e* $= \frac{P_e}{P_m}$ = 2,9
9) Pour un fonctionnement réversible entre T_2 = 60°C et T_1 = 5°C :
   Premier principe : $Q_f + Q_c + W = 0$
   Second principe $Q_f/T_1 + Q_c/T_2 = 0$
   Efficacité de Carnot $e_{Carnot} = \frac{Q_f}{W} = -\frac{Q_f}{Q_f+Q_c} = -\frac{Q_f}{Q_f - Q_f.\frac{T_2}{T_1}} = \frac{-1}{1-\frac{T_2}{T_1}}$ = 5,1 > e car en réalité il y a des pertes par irréversibilités thermiques et mécaniques.