**Serie 2bis : Rappels 2eme principe**

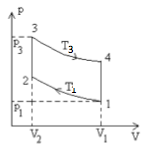
**EXERCICE 1:**

Un réfrigérateur permet de maintenir la température d'une enceinte à TA = -10°C lorsque l'atmosphère extérieure est à la température TC = 25°C. La machine utilise n = 5 moles d'un gaz parfait diatomique, de coefficient γ = 1,4 auquel elle impose le cycle décrit ci-dessous.

* AB : compression adiabatique réversible
* BC : évolution isobare au contact de la source chaude
* CD : détente isentropique
* DA : évolution isobare au contact de la source froide.

On note τ = PB/PA = 2, le taux de compression.

1. Tracer le cycle sur le diagramme de Clapeyron.
2. Rappeler les 3 lois de Laplace, entre P-V, T-V et P-T en démontrant les deuxième et troisième lois, à l’aide de la première et de la loi des gaz parfaits.
3. Calculer les températures TB et TD.
4. Calculer les chaleurs échangées durant le cycle et en déduire W, le travail net.
5. Exprimer η, le rendement de ce cycle, en fonction de τ.
6. Calculer η pour τ = 2.
7. Calculer ηCarnot et comparer avec le cycle de Carnot fonctionnant entre deux sources de mêmes températures TA et TC. Conclure.
8. À fréquence f (nombre de cycles par unité de temps, à exprimer en tr/mn), tourne ce réfrigérateur s’il consomme Ẇ = 300 Watts ?
9. Tracer le cycle sur le diagramme de Clapeyron.
10. Rappeler les 3 lois de Laplace, entre P-V, T-V et P-T en démontrant les deuxième et troisième lois, à l’aide de la première et de la loi des gaz parfaits.  
    PVγ = Cste  
    T Vγ-1 = Cste  
    P1-γ Tγ = Cste
11. Calculer les températures TB et TD. (2 pts)  
    TB = TA (PA/PB)(1-γ)/γ = TA τ(γ-1)/γ = 320,60 K  
    TD = TC (PC/PD)(1-γ)/γ = TC (PB/PA)(1-γ)/γ = TC τ(1-γ)/γ = 244,46 K
12. Calculer les chaleurs échangées durant le cycle et en déduire W, le travail net. (2 pts)  
    QAB = 0  
    QBC = ΔHBC = n Cp (TC - TB) = n R γ/(γ-1) (TC - TB) = - 3 288,19 J   
    QCD = 0  
    QDA = ΔHDA = n Cv (TA - TD) = n R γ/(γ-1) (TA - TD) = 2 697,48 J  
    W = - Q = - QBC - QDA = 590,71 J
13. Exprimer η, le rendement de ce cycle, en fonction de τ.  
    η = QDA / W = (TA - TD) / (TB - TC + TD - TA) = (TA - TC τ(1-γ)/γ) / (TA τ(γ-1)/γ - TC + TC τ(1-γ)/γ - TA)   
    η = (TA - TC τ(1-γ)/γ) / (τ(γ-1)/γ(TA - TC τ(1-γ)/γ) - (TA - TC τ(1-γ)/γ))  
    η = 1 / (τ(γ-1)/γ - 1)
14. Calculer η pour τ = 2.  
    η = 4,5659

**EXERCICE 2:**

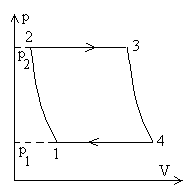
Soit une machine utilisant comme fluide l’air assimilé à un gaz parfait diatomique. Cette machine fonctionne réversiblement selon le cycle de Stirling représenté sur la figure ci-contre. Il est composé de deux isothermes 3 🡪 4 et 1 🡪 2 et de deux isochores 2 🡪 3 et 4 🡪 1.

A l’état 1, la pression est P1 = 105 Pa et la température est T1 = 300 K.

A l’état 3, la pression est P3 = 4 x 105 Pa et la température est T3 = 600 K.

1. Calculer les quantités de chaleur Q23 et Q41 échangées par une mole de gaz au cours des transformations isochores.
2. Calculer les travaux W12 et W34 et le travail W total. En déduire les quantités de chaleur Q12 et Q34 échangées par une mole de gaz au cours des transformations isothermes.
3. Déduire de ces résultats η, le rendement thermodynamique du cycle de Stirling.
4. Comparer ce rendement à ηC (à démontrer) celui que l’on obtiendrait si la machine fonctionnait selon le cycle de Carnot entre les mêmes sources aux températures T1 et T3.
5. Comparer Q23 et Q41. En déduire un procédé original permettant d’obtenir le rendement maximal du cycle de Carnot.
6. Calculer les quantités de chaleur Q23 et Q41 échangées par une mole de gaz au cours des transformations isochores. (2 pts)  
   Q23 = ΔU23 – W23 = Cv (T3 – T2) = R / (γ-1) (T3 – T1) = 6 235,5 J  
   Q41 = ΔU41 – W41 = Cv (T1 – T4) = R / (γ-1) (T1 – T3) = - 6 235,5 J
7. Calculer les travaux W12 et W34 et le travail W total. En déduire les quantités de chaleur Q12 et Q34 échangées par une mole de gaz au cours des transformations isothermes. (2 pts)  
   W12 = - ∫12 P dV = - n R T1 Ln(V2/V1) = - R T1 Ln(V3/V1) = - R T1 Ln(T3/P3 x P1/T1) = 1 728,85 J  
   W34 = - ∫34 P dV = - n R T3 Ln(V1/V2) = R T3 Ln(V3/V1) = R T3 Ln(T3/P3 x P1/T1) = - 3 457,70 J  
   Q12 = ΔU12 – W12 = – W12 = - 1 728,85 J  
   Q34 = ΔU34 – W34 = – W34 = 3 457,70 J
8. Déduire de ces résultats η, le rendement thermodynamique du cycle de Stirling.  
   η = - (W12 + W34) / (Q23 + Q34) = 0,178357
9. Comparer ce rendement à ηC (à démontrer) celui que l’on obtiendrait si la machine fonctionnait selon le cycle de Carnot entre les mêmes sources aux températures T1 et T3.  
   ηC = - Wcycle / Qc = (Qc + Qf)/Qc = 1 + Qf/Qc = 1 – Tf/Tc = 1 – T1/T3 = 0,5
10. Comparer Q23 et Q41. En déduire un procédé original permettant d’obtenir le rendement maximal du cycle de Carnot.  
    Q23 = - Q41   
    Un système de stockage de la chaleur suivant 4->1 éviterait d’avoir à fournir, à la machine, la chaleur suivant 2->3 et le rendement de la machine fonctionnant suivant un cycle de Stirling deviendrait le rendement d’une machine de Carnot.

**EXERCICE 3:**

Soit une machine thermique utilisant comme fluide l’air assimilé à un gaz parfait diatomique. Cette machine fonctionne selon le cycle de la figure ci-contre, dit cycle de Joule composé de deux adiabatiques 1 🡪 2 et 3 🡪 4 et de deux isobares 2 🡪 3 et 4 🡪 1 au cours desquelles le gaz se met progressivement en équilibre de température avec la source chaude à température T3 ou la source froide à T1.

À l’état 1, la pression est P1 = 105 Pa et la température T1 = 300 K.

A l’état 3, la pression est P3 = 5 105 Pa et la température T3 = 500 K.

1. Les évolutions 1 🡪 2 et 3 🡪 4 étant décrites de manière réversible, trouver une relation entre T1, T2, T3 et T4. Calculer T2 et T4.
2. Calculer pour 1 mol de gaz la quantité de chaleur Q23 échangée au cours de l’évolution 2🡪3.
3. Calculer pour 1 mol de gaz la quantité de chaleur Q41 échangée au cours de l’évolution 4🡪1.
4. En déduire le travail W échangé par une mole au cours du cycle.
5. Calculer η le rendement de ce cycle.
6. Comparer ce rendement à ηC (à démontrer) celui qu’on obtiendrait si la machine fonctionnait selon le cycle de Carnot entre les mêmes sources aux températures T1 et T3.
7. Les évolutions 1 🡪 2 et 3 🡪 4 étant décrites de manière réversible, trouver une relation entre T1, T2, T3 et T4. Calculer T2 et T4. (2 pts)  
   T1 P1(1-γ)/γ = T2 P2(1-γ)/γ ⇒ T2 = T1 (P1/P2)(1-γ)/γ = T1 (P1/P3)(1-γ)/γ = 475,15 K  
   T3 P3(1-γ)/γ = T4 P4(1-γ)/γ ⇒ T4 = T3 (P3/P4)(1-γ)/γ = T3 (P3/P1)(1-γ)/γ = 315,70 K
8. Calculer pour 1 mol de gaz la quantité de chaleur Q23 échangée au cours de l’évolution 2🡪3.  
   Q23 = ΔH23 = Cp (T3 – T2) = R γ/( γ-1) (T3 – T2) = 723,11 J
9. Calculer pour 1 mol de gaz la quantité de chaleur Q41 échangée au cours de l’évolution 4🡪1.  
   Q41 = ΔH41 = Cp (T1 – T4) = R γ/( γ-1) (T1 – T4) = - 456,85 J
10. En déduire le travail W échangé par une mole au cours du cycle.  
    W = - Q23 - Q41 = - 266,26 J
11. Calculer η le rendement de ce cycle.  
    η = - W / Q23 = 0,36821
12. Comparer ce rendement à ηC (à démontrer) celui qu’on obtiendrait si la machine fonctionnait selon le cycle de Carnot entre les mêmes sources aux températures T1 et T3.  
    ηC = - Wcycle / Qc = (Qc + Qf)/Qc = 1 + Qf/Qc = 1 – Tf/Tc = 1 – T1/T3 = 0,4

**EXERCICE 4:**

On s'intéresse à une pompe à chaleur qui participe au chauffage de locaux, en prélevant de la chaleur aux effluents liquides à température élevée d’une installation industrielle, avant leur rejet dans une rivière qui recevra des effluents à température plus faible.

L'installation représentée ci -dessous comporte : un compresseur, un détendeur et deux serpentins qui sont le siège des échanges thermiques, avec les effluents d’une part, et avec l'eau d’un circuit de chauffage d'autre part.



1

2

3

4

Le fluide frigorigène est de l'air, assimilé à un gaz parfait de masse molaire M = 29 g.

On étudie les transformations réversibles de 1 kg d'air qui décrit le cycle suivant :

* 1-2 : dans le compresseur : compression adiabatique, la pression passant de P1 = 105 Pa à P2 = 2 x 105 Pa et la température passant de T1 = 310 K à T2.
* 2-3 : dans le serpentin au contact du circuit de chauffage (V3 < V2) : refroidissement isobare, la température passant de T2 à T3 = 330 K.
* 3-4 : dans le détendeur : détente adiabatique, la pression passant de P3 = P2 à P4 = P1, la température passant de T3 à T4 = 271 K.
* 4-1 : dans un serpentin plongé dans les effluents industriels : échauffement isobare jusqu'à la température T1.

1. Représenter l'allure du cycle décrit par l'air sur un diagramme de Clapeyron (P, V). Indiquer par des flèches le sens des transformations.
2. Calculer T2.
3. Calculer les quantités de chaleur échangées par une masse de 1 kg d'air au cours de chacune des 4 transformations. On les notera Q12, Q23, Q34 et Q41.
4. En déduire le travail W reçu par la masse de 1 kilogramme d'air, au cours du cycle.
5. Calculer η le rendement de la pompe à chaleur, c'est-à-dire le rapport de la quantité de chaleur reçue par la source chaude et du travail reçu par l'air, au cours d’un cycle.
6. Comparer avec ηC (à démontrer) le rendement d’un cycle de Carnot fonctionnant aux températures T1 et T3.
7. Représenter l'allure du cycle décrit par l'air sur un diagramme de Clapeyron (P, V). Indiquer par des flèches le sens des transformations.  
   
8. Calculer T2.  
   T2 = T1 (P1/P2)(1-γ)/γ = 377,90 K
9. Calculer les quantités de chaleur échangées par une masse de 1 kg d'air au cours de chacune des 4 transformations. On les notera Q12, Q23, Q34 et Q41. (2 pts)  
   Q12 = 0  
   Q23 = ΔH23 = Cp/M (T3 – T2) = R/M γ/( γ-1) (T3 – T2) = - 48 063 J  
   Q34 = 0  
   Q41 = ΔH41 = Cp/M (T1 – T4) = R/M γ/( γ-1) (T1 – T4) = 39 133 J
10. En déduire le travail W reçu par la masse de 1 kilogramme d'air, au cours du cycle.  
    W = - Q23 - Q41 = 8 930 J
11. Calculer η le rendement de la pompe à chaleur, c'est-à-dire le rapport de la quantité de chaleur reçue par la source chaude et du travail reçu par l'air, au cours d’un cycle.  
    η = - Q23 / W = 5,3822
12. Comparer avec ηC (à démontrer) le rendement d’un cycle de Carnot fonctionnant aux températures T1 et T3.  
    ηC = - Qc / Wcycle = Qc / (Qc + Qf) = 1/(1 + Qf/Qc) = 1/(1 - Tf/Tc) = Tc / (Tc - Tf) = T3 / (T3 - T1) = 16,5