

1. Comment est défini un système thermodynamique ?

Un système thermodynamique Σ est défini par une surface arbitraire $\mathcal{S}$ de taille macroscopique appelé surface de contrôle.

2. Comment définit-on un système fermé ou ouvert ?

Un système thermodynamique est fermé si aucune matière ne traverse la surface de contrôle, dans le cas inverse il est ouvert.

3. Comment définit-on l'équilibre d'un système thermodynamique ?

Un système thermodynamique est à l'équilibre si : - il n'y a pas de mouvement macroscopique de la matière à l'intérieur du système ; - la température est uniforme en tout point du système (équilibre thermique) ; - la pression est uniforme en tout point du système (équilibre mécanique) ; - si le potentiel chimique de chaque espèce à une valeur uniforme dans le système (équilibre de diffusion).

4. Définir l'équilibre thermique local (ETL)

L'équilibre thermique local est réalisé si on peut découper le système en volume mésoscopiques pouvant être considérées comme des systèmes à l'équilibre thermodynamique.

Dans la suite des questions, jusqu'à indication contraire, nous serons dans l'hypothèse de l'ETL :

5. Définir les énergies en fonction du temps

L'énergie interne est associée aux mouvements à l'échelle macroscopique et aux interactions entre les particules microscopiques.

$$U(t) = \iiint_{M \in V_S} u(M, t) \mu(M, t) d\tau_M$$

L'énergie cinétique est associée au mouvement macroscopique de matière

$$E_c(t) = \iiint_{M \in V_S} e_c(M, t) \mu(M, t) d\tau_M$$

6. Donner le premier principe de la thermodynamique pour un système fermé, au cours d'une transformation infinitésimale, entre deux instants t et $t+dt$ infiniment proches

$$dE = dU + dE_c + dE_{p,ext} = \delta Q + \delta W$$

7. Traduire ce premier principe thermodynamique, pour un système fermé, au cours d'une transformation infinitésimale, entre deux instants t et $t+dt$ infiniment proches, en termes de puissance

$$\frac{dE}{dt} = \frac{dU}{dt} + \frac{dE_c}{dt} + \frac{dE_{p,ext}}{dt} = \mathcal{P} + \phi$$

Avec $\mathcal{P}$ la puissance mécanique reçue par le système et ϕ la puissance thermique ou flux thermique reçue par le système.

8. Donner le second principe de la thermodynamique pour un système fermé, au cours d'une transformation infinitésimale, entre deux instants t et $t+dt$ infiniment proches

$$dS = \delta S_{echang} + \delta S_{créé}$$

9. Comment est défini le débit massique d'un fluide dans un système ouvert en régime stationnaire et comment le relie-t-on à la masse de fluide entrant ou sortant entre t et $t+dt$?

On définit le débit massique du fluide D_m à travers le système par : $D_m = D_{m,e} = D_{m,s}$.

Tandis que la masse de fluide entrant ou sortant du système entre deux instants très proches t et $t+dt$ est : $dm = D_m dt$

10. Donnez le bilan d'une grandeur extensive Y en régime stationnaire

$$dY_{\Sigma^*} = dm(y_s - y_e)$$

11. Définir le travail utile massique pour un système ouvert en régime stationnaire

Etant donné que : $\delta W_u = \mathcal{P}_u dt$ avec $\mathcal{P}_u$ la puissance mécanique correspondant à une pièce mobile contenue dans le système et que le travail utile massique vaut w_u vaut : $\delta W_u = w_u dm$, on a alors :

$$w_u = \frac{\mathcal{P}_u}{D_m} \text{ en } J \cdot kg^{(-1)}$$

12. Définir le transfert thermique massique q pour un système ouvert en régime stationnaire

Etant donné que $\delta Q = \phi dt$ et que q vaut : $\delta Q = q dm$, on a alors

$$q = \frac{\delta Q}{D_m} \text{ en } J \cdot kg^{(-1)}$$

13. Donner le premier principe pour un système ouvert, en régime stationnaire :

$\Delta h + \Delta e_c + \Delta e_{p,ext} = q + w_u$ avec Δh la variation d'enthalpie massique du fluide lorsqu'il traverse le système ouvert.

14. Définir les caractéristiques d'une pompe (compresseur) ?

Une pompe (resp. compresseur) est un dispositif destiné à accroître la pression d'un gaz (resp. d'un liquide). Le fluide y reçoit de la part des pièces mécaniques mobiles un travail massique > 0 . Le transfert thermique est le plus souvent négligé ainsi le premier principe avec un système ouvert en régime stationnaire s'écrit : $\Delta h \cong w_u > 0$.

15. Définir les caractéristiques d'une turbine

Le fluide traversant une turbine fournit du travail à une pièce mécanique mobile : $w_u < 0$. Sa pression et sa température diminuent. Le transfert thermique est négligeable, de même que la variation d'énergie potentielle de pesanteur. Ainsi on a : $\Delta h + \Delta e_c \cong w_u < 0$.

16. Définir les caractéristiques d'un détendeur

Un détendeur est un dispositif utilisé pour abaisser la pression d'un fluide. Il s'agit d'une soupape ajustable, d'un bouchon poreux ou bien d'un tube capillaire. Le fluide qui le traverse ne reçoit aucun travail car il n'y a pas de pièce mobile et quasiment aucun transfert thermique. Les variations d'énergie cinétique et d'énergie potentielle de pesanteur sont négligeables. On a : $\Delta h \cong 0$.

17. Définir les caractéristiques d'une tuyère

Une tuyère est un conduit de section variable dont le rôle est d'accroître la vitesse d'écoulement du gaz. Le gaz qui la traverse ne reçoit pas de travail et peu de transfert thermique. La variation d'énergie potentielle de pesanteur est négligeable. On a alors : $v_s \cong \sqrt{v_e^2 + 2(h_s - h_e)}$.

18. Définir les caractéristiques d'un évaporateur / condensateur

Dans un évaporateur ou un condensateur, le fluide ne reçoit pas de travail. Les variations d'énergie cinétique et potentielle de pesanteur sont négligeables. Dans un évaporateur le fluide reçoit un transfert thermique tandis que dans le condensateur il en cède. On a alors : $\Delta h \cong q$.

19. Quels sont les trois modes de transfert thermique ?

Il y a la conduction, la convection et le rayonnement.

20. Définir la conduction thermique

La conduction thermique est le mode de transfert thermique entre deux systèmes séparés par un milieu matériel immobile.

Le transfert d'énergie résulte des collisions entre les particules microscopiques qui sont animés d'un mouvement d'agitation thermique. Le système avec la température la plus élevée, agitation thermique la plus importante cède de l'énergie aux particules de la paroi, cette énergie est transportée de proche en proche puis jusqu'au système le plus froid.

21. Définir le transfert thermique convectif

La convection thermique met en jeu un fluide en mouvement, celui-ci passe d'un système à l'autre recevant de l'énergie du système dont la température est la plus élevée pour la céder au système dont la température est la plus faible.

22. Définir le transfert thermique radiatif

Le transfert thermique radiatif a lieu entre deux systèmes de températures différentes séparés par un milieu transparent. Les particules microscopiques des deux systèmes du fait de leur agitation thermique émettent des ondes électromagnétiques. Les photons émis par chacun des deux systèmes sont reçus par l'autre qui en absorbe une partie.

23. Donnez la définition du vecteur densité du courant thermique

La quantité d'énergie qui traverse dS_M dans le sens du vecteur $\vec{n}$ (avec $\vec{n}$ unitaire et orthogonale à la surface élémentaire) entre les instants t et $t+dt$:

$$\delta^2 Q = \vec{j}_{th}(M, t) \cdot \vec{n} dS_M dt$$

24. Quelles sont les informations données par le vecteur $\vec{j}_{th}$?

Le vecteur $\vec{j}_{th}$ donne la direction dans laquelle l'énergie se déplace ; sa norme quant à elle indique l'importance du courant d'énergie.

25. Quel est l'unité du vecteur de la norme du vecteur densité de flux thermique ?

$$[\vec{j}_{th}] = W \cdot m^{-2}$$

26. Comment définit-on le flux thermique en fonction du vecteur $\vec{j}_{th}$?

Le flux thermique traversant S dans le sens de ses vecteurs surface élémentaire $\vec{dS}_m$ est :

$$\Phi(t) = \iint_{M \in S} \vec{j}_{th}(M, t) \cdot \vec{dS}_m$$

27. Donner la loi de Fourier

Le vecteur densité de courant thermique $\vec{J}_{th}$ est lié au gradient du champ de température $T(M, t)$ dans le matériau par la loi de Fourier : $\vec{J}_{th}(M, t) = -\lambda \overrightarrow{grad} T(M, t)$ où λ est la conductivité thermique du matériau.

28. Donner les ordres de grandeur de conductivités thermiques de l'air, l'eau liquide, le verre, le cuivre et l'acier

Matériau	λ à 300K en $W.m^{-1}.K^{-1}$
Acier	$\simeq 50$
Air (P=1bar)	$2,6.10^{-2}$
Cuivre	$4,0.10^{-2}$
Eau liquide	$6,0.10^{-1}$
Verre	$\simeq 1$

29. Donner la diffusivité thermique du matériau

$$a = \frac{\lambda}{\mu c} \text{ en } m^2.s^{-1}$$

30. Quelles est la relation qui relie les échelles de longueur et de temps ?

$$L \sim \sqrt{a\tau} \Leftrightarrow \tau \sim \frac{L^2}{a}$$

31. Quel est l'équation locale de bilan thermique dans le cas général ?

$$\mu c \frac{\partial T(M, t)}{\partial t} + \text{div} \vec{J}_{th}(M, t) = 0$$

32. Quel est l'équation local de diffusion thermique dans le cas général ?

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \Delta T(M, t)$$

Avec ΔT le laplacien du champ de température

33. Qu'est-ce que la résistance thermique ?

On appelle résistance thermique R_{th} du conducteur thermique entre les systèmes 1 et 2, le rapport :

$$R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{\phi_{1 \rightarrow 2}}$$

34. Quelle est la formule de la résistance thermique dans le cas d'un transfert unidimensionnel ?

$$R_{th} = \frac{L}{\lambda S}$$

35. Quelle est la formule de la résistance thermique dans le cas d'une interférence solide-fluide ?

$R_{th} = \frac{1}{hS}$ où h est le coefficient de transfert thermique de surface de la loi de Newton.

36. Que vérifie le champ de température en régime stationnaire dans un matériau dépourvu de source ?

En régime stationnaire, le champ de température dans un matériau dépourvu de sources de chaleur vérifie l'équation de Laplace :

$$\Delta T(M) = 0$$

37. Donner la loi de Newton

Lorsque que le matériau solide est en contact en P avec un fluide de température T_f , le flux thermique élémentaire passant du solide au fluide à travers la surface dS_P est donné par la loi de Newton :

$$d\Phi_{solide \rightarrow fluide} = h(T(P, t) - T_f) dS_P$$

38. Citer 3 paramètres dont dépend h le coefficient de transfert conductoconvectif présent dans la loi de Newton

La valeur de h dépend de la nature du fluide et de sa vitesse, ainsi que l'état de la surface solide.

39. Que vérifie le champ de température en régime stationnaire dans un matériau pourvu de source ?

$$\Delta T = -\frac{1}{\lambda} P_v$$