Mise au point sur les bases de la thermodynamique

par G. LAVERTU
90000 Belfort

La distribution entre chaleur et travail donnée dans «les bases de la thermodynamique» (B.U.P. n° 719) est bien celle qui a été donnée alors sous sa forme la plus générale :

- δW = travail microscopique ordonné localement,
- δQ = travail microscopique désordonné localement.

La notion d'ordre et de désordre est bien ainsi l'idée maîtresse de la thermodynamique, et il apparaît alors naturel que les travaux ordonné et désordonné interviennent de façon si différente sur le désordre, c'est-à-dire sur l'entropie du système, mais ici n'est pas le sujet.

Imaginons maintenant un système comprenant deux espèces de particules ; si dans une case les vitesses macroscopiques des deux espèces considérées séparément sont différentes il y a manifestement un travail ordonné alors que le centre d'inertie de la case est peut-être immobile. La définition la plus générale pour un système soumis seulement à des forces extérieures doit tenir compte de la nature des particules.

On définira donc dans chaque case la vitesse macroscopique v_{Mn} comme étant celle du centre d'inertie des particules de l'espèce n de la case.

D'où $$\mathbf{v}_{jn} = \mathbf{v}_{Mn} + \mathbf{v}_{jn}^*$$

Par suite, les définitions 7 et 8 deviennent :

$$\delta W = \Sigma_{jn}\, \mathbf{f}_{ejn} \bullet \mathbf{v}_{Mn}\, dt \qquad (7)$$

$$\delta Q = \Sigma_{jn}\, \mathbf{f}_{ejn} \bullet \mathbf{v}_{jn}^*\, dt \qquad (8)$$

Les définitions antérieures demeurent valables pour les systèmes à particules identiques et les systèmes dont $\mathbf{v}_{\mathbf{M}n}$ est indépendant de n. Prenons un exemple où la distinction doit être faite : calculons pour le système constitué par les porteurs mobiles d'un dipôle parcouru par un courant d'intensité I, contenu entre les équipotentielles V_1 et V_2, travail et chaleur fournis par le champ électrique.

Soit υ_n, q_n, $\mathbf{v}_{\mathbf{M}n}$ respectivement la densité volumique, la charge et la vitesse macroscopique de l'espèce n. Le vecteur-densité de courant est :

$$\mathbf{J} = \Sigma_n \, \upsilon_v q_n \mathbf{v}_{\mathbf{M}n} = \Sigma_n \, q_n \Sigma_{\delta\tau} \, \mathbf{v}_{jn} / \delta\tau$$

Dans le volume $\delta\tau$:

$$\delta W(\delta\tau) = \Sigma_n \, \Sigma_{\delta\tau} \, q_n \mathbf{E} \bullet \mathbf{v}_{jn} \, dt = \mathbf{E} \bullet \mathbf{J} \, \delta\tau \, dt$$

Intégrons dans le volume compris entre les équipotentielles V_1 et V2 :

$$\delta W/dt = -\iiint_V \mathbf{J} \bullet \mathbf{grad} \, V \, \delta\tau = -\iiint_V \mathrm{div}(V\mathbf{J}) \, \delta\tau$$

car V div $\mathbf{J}$ = 0.

Puis on applique le théorème d'Ostrogradsky :

$$\delta W/dt = -\iint_S V\mathbf{J} \bullet \mathbf{n} \, \delta s$$

n étant le vecteur unitaire sortant.

Sur la surface latérale le produit scalaire est nul, et sur les équipotentielles, V peut sortir de l'intégrale :

$$\delta W/dt = V_1 I - V_2 I = UI = P$$

D'autre part $\delta Q/dt = \Sigma_n \, q_n \mathbf{E} \bullet \Sigma_{\delta\tau} \, \mathbf{v}_{jn}{}^* = 0$ puisque $\Sigma_{\delta\tau} \, \mathbf{v}_{jn}{}^* = 0$.

Ce calcul est également valable pour le dipôle incluant les porteurs mobiles.

Cette nouvelle formulation ne semble entraîner comme rectification dans le texte initial qu'une plus grande précision pour l'énoncé de la validité de la loi W = ΔK pour un solide : la notion de solide doit s'entendre au point de vue mécanique, c'est-à-dire que la distance de deux particules quelconques du système est constante, ce qui a permis d'utiliser la loi de distribution des vitesses dans la démonstration : pour ce solide on a donc toujours $\mathbf{v}_{\mathbf{M}n} = \mathbf{v}_{\mathbf{M}}$.

Voici donc l'énoncé : W = ΔK pour un solide mécanique dont les particules ne sont soumises de l'extérieur qu'à des forces.

Considérons ainsi un dipôle où toute la puissance est dissipée en chaleur. Si on inclut les porteurs dans le système, UIdt est un travail, et $UIdt = d\mathcal{U}$, mais le système n'est pas un solide mécanique.

Si on exclut les porteurs mobiles du système, UIdt est une chaleur, puisque la vitesse macroscopique de toute particule est nulle, donc $\delta Q = UIdt = d\mathcal{U}$.

Le résultat s'applique et le système défini est un solide mécanique. On peut justifier que la chaleur reçue par ce système (1) est bien UIdt en appliquant le premier principe au système $\big((1) \cup (2)\big)$, (2) étant constitué des porteurs mobiles :

$d\mathcal{U}_1 + d\mathcal{U}_2 + dK_2 = UIdt$, et il est légitime de négliger $d\mathcal{U}_2$ et dK_2.