

Jean Bellissard
 Renaud Mathevet
 Mohamed Belkacem

Université Paul Sabatier,
 UM2
 Maîtrise de Physique

Phénomènes irréversibles

Deuxième partie : Aspects Macroscopiques du Transport

d'après [1] Ch.4 et 10, [2] Ch.16, [3] Ch. III.

Exercice 2.1 : Équation de continuité des particules

On considère un fluide constitué de particules. On note n leur densité volumique et $\vec{J}(\vec{r})$ leur densité de courant.

- Rappeler la définition de la densité de courant que nous avons notée $\vec{J}(\vec{r})$ ci-dessus.
- De la conservation du nombre de particules, déduire l'équation de continuité.
- Si on a la possibilité de créer ou de détruire des particules lors de réactions (chimiques, nucléaires, ...) se produisant dans le fluide, redériver l'équation de continuité pour la conservation de particules, en tenant compte du taux volumique de production de particules qu'on notera σ .

Exercice 2.2 : Équation de continuité des courants électriques

Les particules transportent avec elles certaines propriétés usuelles (énergie "d'agitation thermique", charge, impulsion) ou plus exotiques (moment cinétique, spin, couleur, ...). Cela nous amène naturellement à considérer le transport de ces propriétés, par exemple, la charge.

On considère un mélange de K espèces de particules (chargées et non chargées) ne réagissant pas entre elles.

- Définir la densité volumique de charge n_q et la densité de courant de charge \vec{J}_q en fonction des densités de particules n_i et des courants de particules \vec{J}_i de chaque espèce.
- Déduire l'équation de continuité pour la conservation de la charge électrique.

Lors de réactions nucléaires ou électrochimiques, des particules (molécules) éventuellement chargées sont produites et détruites. On notera A_i les espèces en présence, a_i les coefficients stoechiométriques de la réaction et q_i la charge de A_i . On supposera de plus qu'il y a p réactifs et $K - p$ produits.

- Écrire l'équation bilan de la réaction. Montrer alors que, si on introduit les coefficients stoechiométriques algébriques $\nu_i = \pm a_i$ suivant que i désigne un produit ou un réactif, on a :

$$\frac{dn_i}{\nu_i} = cste = d\xi \quad (1)$$

ξ s'appelle *l'avancement de la réaction* et, bien sûr, $\sigma = d\xi/dt$.

- Que vaut σ_i le taux volumique de création de particules de l'espèce i ? En déduire l'équation de continuité pour cette espèce.
- Dériver alors l'équation de continuité du courant électrique.

f) De même pour un fluide avec une seule espèce, déduire l'équation de continuité pour la conservation de l'impulsion en l'absence de champ extérieur.

Exercice 2.3 : Équation de continuité de la chaleur

Parmi toutes les quantités dont on peut examiner le transport, la chaleur joue un rôle particulier tant du point de vue de ses applications fort nombreuses que du point de vue théorique : il n'y a pas de particule de chaleur. La chaleur n'est pas portée par une particule (microscopique) mais ne peut se définir qu'à l'échelle mésoscopique. De plus, elle n'est pas conservée (cf. 1^{er} principe). Pourtant, les lois de chaleur sont connues depuis bien longtemps (Joseph Fourier, 1815) et sont tout à fait similaires à celles régissant les particules.

On considère un fluide animé d'aucun mouvement de convection. Ainsi, en tout point, la valeur moyenne du champ des vitesses est nulle. Le flux thermique I_{th} est défini comme le flux d'énergie interne (notée U) non convectif.

- a) Par analogie avec le cas des particules, relier le flux thermique à l'énergie interne et définir la densité volumique de courant thermique J_{th} .
- b) On introduit ρ , u et σ_u la masse volumique, l'énergie interne massique et le taux de production d'énergie interne du fluide. En déduire l'équation de continuité de la chaleur.
- c) Donner des exemples de taux de production d'énergie interne.

Références

- [1] J. Ph. PÉREZ & A. M. ROMULUS, *Thermodynamique, Fondements et Applications*, Masson Ed., Paris, (1993).
- [2] H. B. CALLEN, *Thermodynamics*, John Wiley & Sons, Inc., New-York, London, (1963).
- [3] Ch. VIDAL, G. DEWEL & P. BORCKMANS, *Au-delà de l'équilibre*, Hermann, Paris, (1994).