

Une mauvaise définition de l'énergie interne

par José-Philippe PÉREZ
Université Paul Sabatier - 31062 Toulouse

A la lecture de quelques ouvrages d'enseignement des classes de lycée traitant des nouveaux programmes de sciences physiques (secondaire et classes préparatoires), il semble qu'un accord (ou une consigne ?) ait conduit à un choix singulier pour la définition de l'énergie interne d'un système. La plupart des nouveaux livres de première S ont adopté cette définition et, peut-être plus grave, on la rencontre dans presque tous les récents ouvrages des classes préparatoires.

Certes, une définition n'est jamais qu'une convention, dont le critère principal est souvent la commodité. Mais, quel est l'intérêt, pour des enseignants, d'abandonner la définition historique qui est celle adoptée par la communauté scientifique internationale ?

Il est vrai que, dans le passé, les professeurs des lycées, probablement inspirés par les écrits de scientifiques éminents, comme Purcell [1] et Feynmann [2], ont eu raison d'appeler **B** le champ magnétique, et non **H** comme le préconise encore la commission internationale d'électricité. De même, ils ont eu raison d'imiter Landau-Lifschitz [3] et Taylor-Wheeler [4], en relativité restreinte, et ainsi de ne pas suivre l'exemple de certains universitaires, notamment anglo-saxons, qui utilisent encore de nos jours la masse variable ; ce concept a été introduit par Einstein, mais abandonné par lui-même quelques années plus tard, car inutile et source de confusion.

Sur l'enseignement du concept d'énergie, je ne reviens pas sur ce que j'ai dit ailleurs [5] et sur quelques maladresses pédagogiques du nouveau programme de première. On pourrait d'ailleurs porter des critiques analogues sur l'enseignement des oscillateurs en terminale S ; j'ai bien observé que la mode non linéaire avait enthousiasmé les rédacteurs des nouveaux programmes. Mais, n'en déplaise aux adeptes de la pensée complexe, en pédagogie comme en cosmologie, la progression du simple vers le complexe est une idée qui a encore de l'avenir.

Concernant l'énergie interne, la lecture de grands auteurs devraient mettre tout le monde d'accord : Poincaré [6], Bruhat-Kastler [7], Glansdorff-Prigogine [8]. Répétons que l'énergie interne n'est pas uniquement de nature microscopique [5]. Elle est constituée de l'énergie cinétique de chaque élément microscopique, dans le référentiel local du centre de masse, de l'énergie potentielle d'interaction de ces particules, mais aussi de l'énergie potentielle des forces *macroscopiques* intérieures $\mathcal{E}_{p,in}^M$:

$$U \equiv \mathcal{E}_k^{\text{micro}} + \mathcal{E}_{p,in}^{\text{micro}} + \mathcal{E}_{p,in}^M$$

Par exemple, l'énergie interne d'un ensemble de galaxies est constituée principalement par l'énergie potentielle d'interaction gravitationnelle [9]. C'est en exprimant cette énergie interne et en constatant qu'elle diminue, lorsque l'énergie cinétique des galaxies augmente, que l'on explique l'instabilité des systèmes auto-gravitants.

Le fait que les chimistes dans leur laboratoire négligent l'interaction gravitationnelle, comme ils négligent légitimement l'énergie cinétique macroscopique $\mathcal{E}_k^M$ et l'énergie potentielle des forces extérieures $\mathcal{E}_{p,ex}^M$, dans l'expression du premier principe de la thermodynamique, ne justifie pas qu'on s'aligne sur eux, mais au contraire que l'on situe leurs préoccupations par rapport aux nôtres. D'ailleurs, cette énergie potentielle joue un rôle primordial dans la levée du paradoxe de la mort thermique de l'Univers [10].

De même, l'énergie interne d'un ensemble de charges électriques comporte l'énergie électromagnétique macroscopique de cet ensemble ; c'est ainsi que l'on retrouve les formules habituelles de l'électrostriction. En effet, rappelons, dans ce cas, l'expression différentielle du bilan énergétique du premier principe de la thermodynamique. Il vient, en reprenant l'analyse et les notations standard [11] (S est l'entropie, T la température absolue, V le volume, E la f.é.m. et q la charge) :

$$dU = TdS - pdV + Edq$$

où les trois termes du second membre représentent respectivement les échanges d'énergie de natures thermique, mécanique et électrique. On en déduit, en introduisant la fonction d'état $\Omega = U - TS + pV - Eq$, qui n'est fonction que des seules variables intensives T , p , E :

$$d\Omega = -SdT + Vdp - qdE \quad \text{d'où} \quad \left(\frac{\partial V}{\partial E} \right)_{T,p} = - \left(\frac{\partial q}{\partial p} \right)_{T,E}$$

Comme cette dernière quantité est négative, il y a électrostriction, c'est-à-dire diminution de volume au cours d'une élévation isotherme et isobare de la f.é.m. E.

Si l'énergie interne n'incluait pas l'énergie électrique, il faudrait l'ajouter explicitement, ce qui donnerait :

$$d(U + Eq) = TdS - pdV + Edq \quad \text{soit} \quad dU = TdS - pdV - qdE$$

dont la justification n'est pas immédiate, car le terme $-qdE$ n'est pas le travail électrique reçu.

Évidemment, on retomberait sur l'équation de l'électrostriction en introduisant la fonction thermodynamique adaptée, grâce à une transformation de Legendre convenable. Mais n'est-ce pas là se démarquer inutilement de la communauté scientifique et compliquer pédagogiquement un problème qui n'avait pas besoin de cela pour être compris ?

BIBLIOGRAPHIE

- [1] E.-M. PURCELL : «*Électricité et magnétisme*», Cours de physique, Armand Colin, 1973.
- [2] R. FEYNMANN : «*Électromagnétisme*», Interéditions, 1979.
- [3] J. TAYLOR et A. WHEELER : «*Spacetime physics*», Freeman, 1992.
- [4] L. LANDAU et E. LIFSCHITZ : «*Théorie du champ*», Éditions Mir, 1967.
- [5] J.-Ph. PÉREZ et A.-M. PÉREZ, B.U.P. n° 768, p. 1601, 1994.
- [6] H. POINCARÉ : «*Thermodynamique, 1908*», éditions Jacques Gabay, 1995.
- [7] G. BRUHAT et A. KASTLER : «*Thermodynamique*», 1962.
- [8] P. GLANSDORFF et I. PRIGOGINE : «*Structure, stabilité et fluctuations*», Masson, 1971.
- [9] J. BINNEY and S. TREMAINE : «*Galactic dynamics*», Princeton Series in Astrophysics, 1987.
- [10] L. LANDAU et E. LIFSCHITZ : «*Physique statistique*», Éditions Mir, 1967.
- [11] J.-Ph. PÉREZ et A.-M. ROMULUS : «*Thermodynamique*», Masson, 1993.