

Les formes de l'énergie, que nous venons d'envisager, étaient connues au XIXe siècle et nous avons énoncé le principe de la conservation de l'énergie comme le faisaient les Physiciens aux environs de 1900. Mais, dans la théorie de la Relativité, *la masse d'un système augmente quand son énergie croît.*

Entre la variation d'énergie  $dE$  et la variation de masse  $dm$ , il existe la relation d'Einstein, où  $c$  désigne la vitesse (de la lumière dans le vide)

$$dE = c^2 dm.$$

Comme  $c = 300\,000 \text{ km/s} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , on a, dans le système M.K.S.

$$dE = 9 \times 10^{18} dm.$$

(joules)            (kg)

Calculons l'énergie qui équivaut à une masse de 1 g ou  $10^{-3} \text{ kg}$

$$dE = 9 \times 10^{16} \times 10^{-3} = 9 \times 10^{13} \text{ J};$$

en kilowatts-heures  $dE = 9 \times 10^{13} / 3,6 \times 10^6 = 25 \times 10^6 \text{ kW-h.}$

Un système doit donc fournir 25 millions de kilowatts-heures pour que sa masse diminue de 1 gramme. Ce résultat fait prévoir que les énergies ordinairement considérées correspondent à des variations de masse beaucoup trop petites pour être accessibles à l'expérience ; nous le montrerons dans le cas des réactions chimiques

Par contre, dans les transformations radioactives naturelles et les transmutations artificielles, les énergies mises en jeu sont assez grandes pour que les variations de masse soient mesurables.

Ainsi, un atome de radium donne un atome de radon et un atome d'hélium ; mais la masse du radium est supérieure à la somme des masses du radon et de l'hélium, et la différence représente l'énergie dégagée dans la transformation. On a donc la relation

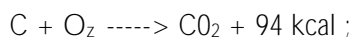
masse Ra = masse Rn + masse He + équivalent de l'énergie dégagée. La conservation de la masse et celle de l'énergie expriment la même chose ; elles fournissent une seule équation, qui peut être écrite soit en kilogrammes, unité de masse, soit en joules, unité d'énergie. Les déterminations précises des masses des noyaux atomiques permettent de calculer les énergies dégagées dans les réactions nucléaires; elles sont, par ailleurs, directement mesurables. De tels bilans constituent des vérifications expérimentales de la relation d'Einstein.

La Relativité conduit donc à énoncer la conservation d'une grandeur qu'il serait commode d'appeler *énergie-masse*. C'est ce

principe qui doit être utilisé en Physique nucléaire. Toutefois, l'équivalence de la masse et de l'énergie ne doit pas faire oublier (seule une faible partie de la masse d'un élément chimique peut se transformer en énergie utilisable; elle ne dépasse pas 1 % dans les circonstances les plus favorables.

### L'énergie chimique et la loi de Lavoisier

En Chimie, on a toujours le droit de négliger la masse équivalant à l'énergie mise en jeu ; nous allons faire le calcul pour la combustion du carbone:



$$dE = 94\,000 \times 4,185 = 394 \times 10^3 \text{ J.}$$

$$dm = 394 \times 10^3 / 9 \times 10^{16} = 44 \times 10^{-13} \text{ kg} = 44 \times 10^{-10} \text{ g.}$$

Or la masse du système  $C + O_2$  vaut:  $m = 12 + 2 \times 16 = 44 \text{ g};$

donc :  $dm / m = 10^{-10}$

La variation relative de masse est donc inférieure au 1/1 000 de la sensibilité des meilleures balances : 0,1 mg sur 1 kg, soit  $10^{-7}$ . Pour toutes les réactions chimiques, on trouverait des résultats du même ordre : *experimentalement, la masse reste constante*. Il en est, a fortiori, de même pour les transformations physiques, telles que la fusion ou la vaporisation. Nous venons ainsi de justifier théoriquement la loi de Lavoisier.

Mais l'énergie chimique représente cette inappréciable variation de masse. On trouve alors deux relations en écrivant:

1° la conservation de la masse,

et 2° la conservation de l'énergie, compte tenu de l'énergie chimique.

Il ne faut cependant pas en conclure qu'énergie nucléaire et énergie chimique sont essentiellement différentes, c'est-à-dire que

seule la première équivaut à une masse. Si les balances étaient 100 000 fois plus sensibles, les Chimistes pourraient déduire les

chaleurs de réactions des masses molaires des produits mis en oeuvre. Inversement, si les masses atomiques n'étaient connues

qu'à quelques centièmes près, la loi de Lavoisier semblerait vérifiée en Physique nucléaire. La différence réside uniquement dans

l'ordre de grandeur de l'énergie dégagée par unité de masse ; elle est environ 1 000 000 de fois plus grande dans les

transmutations nucléaires que dans les réactions chimiques.

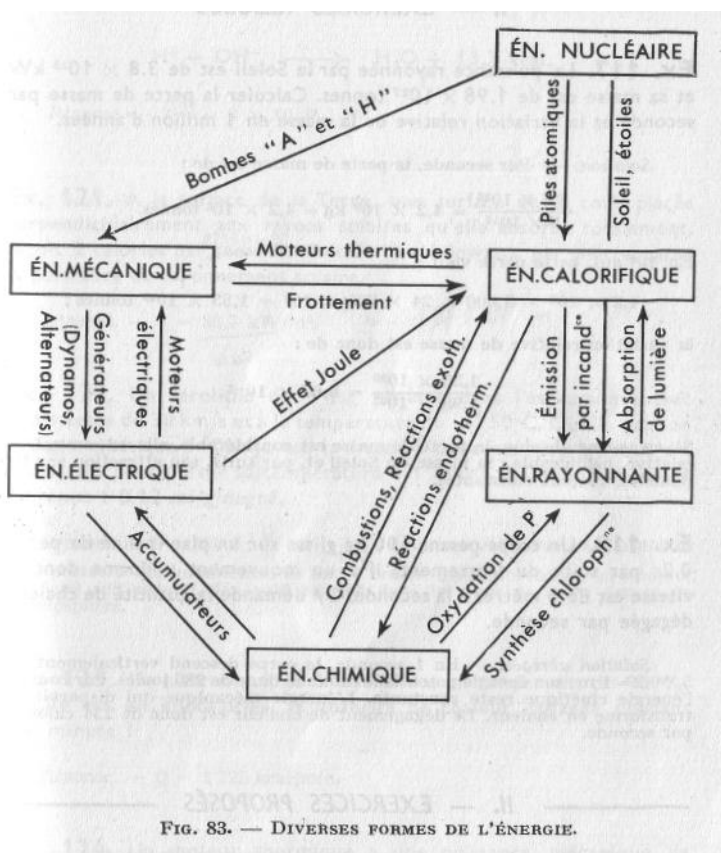


FIG. 83. — DIVERSES FORMES DE L'ÉNERGIE.