

Dissonances énergétiques

par C. RUHLA,

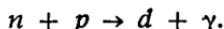
Université Claude-Bernard (Lyon I)
43, boulevard du 11-Novembre-1918,
69621 Villeurbanne.

Il était une fois une vieille querelle entre chimistes et physiciens. Elle avait pour sujet la convention de signe dans les réactions exothermiques. Les chimistes avaient choisi la convention anthropocentrique : — « C'est positif quand ça me chauffe » — et ils écrivaient en conséquence : $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 94$ kilocalorie. Les physiciens avaient choisi pour la thermodynamique, la convention opposée : — « Un transfert d'énergie est considéré comme positif si cette énergie est reçue par le système » — et, en conséquence, pour le système $C + O_2$, ils écrivaient : $C + O_2 \rightarrow CO_2$, $\Delta U = -393$ kilojoule (*). Aucun compromis n'était possible, et il fallait sortir de cette contradiction. Nous pouvons remercier nos collègues chimistes d'avoir adopté les conventions des physiciens.

Si tout est pour le mieux, maintenant, dans le meilleur des mondes chimiques possibles, les physiciens auraient malgré tout grand tort de pavoiser, et ils feraient bien de regarder ce qui se passe chez eux à propos d'un problème tout à fait semblable : nous voulons parler de l'énergie de liaison des noyaux.

UN PHENOMENE TYPE.

Plutôt que d'aborder tout de suite des définitions abstraites, nous allons examiner un phénomène concret qui est un « classique » de la physique nucléaire : la capture radiative des neutrons thermiques par les protons. La réaction s'écrit ${}^1_1H(n, \gamma) {}^2_1H$, ou encore :



Pour faire le bilan énergétique de la réaction, on néglige l'énergie d'agitation thermique dans la voie d'entrée car elle est inférieure à 0,1 eV, et l'on s'intéresse uniquement à la voie de sortie.

La réaction est *exothermique*; elle libère une quantité d'énergie $Q = 2,224$ MeV qui se répartit en énergie cinétique de recul du deuton $E_R = 0,001$ MeV et en énergie du photon $E_\gamma = 2,223$ MeV.

(*) On définit aussi ΔH , ΔF , ΔG , mais ce n'est pas ici notre propos. Note de l'auteur.

LA CONVENTION TRADITIONNELLE.

Les physiciens nucléaires étaient, il n'y a pas si longtemps des chimistes nucléaires. Ils ont donc tout naturellement défini les quantités suivantes :

— *La chaleur de réaction* Q donnée par la relation :

$$Q = (\text{masse initiale} - \text{masse finale}) c^2.$$

Dans le cas de la réaction $n + p \rightarrow d + \gamma$, on obtient :

$$Q = (M_p + M_n - M_d) c^2.$$

Dans le cas général de la réaction $A + B \rightarrow D + E$, on aura :

$$Q = [(M_A + M_B) - (M_D + M_E)] c^2.$$

— *L'énergie de liaison* E_L , donnée par la relation :

$$E_L = (\text{Masse des nucléons libres} - \text{Masse des nucléons liés}) c^2.$$

Dans le cas de la réaction $n + p \rightarrow d + \gamma$, ce sont deux nucléons libres n et p , qui se lient pour former un deuton.

L'énergie de liaison est donc $E_L = (M_p + M_n - M_d) c^2$.

Dans le cas général correspondant à un noyau de numéro atomique Z , le nombre de masse A , et de masse M , l'énergie de liaison s'écrira : $E_L = [Z M_p + (A - Z) M_n - M] c^2$.

Avec cette définition, l'énergie de liaison est une quantité positive.

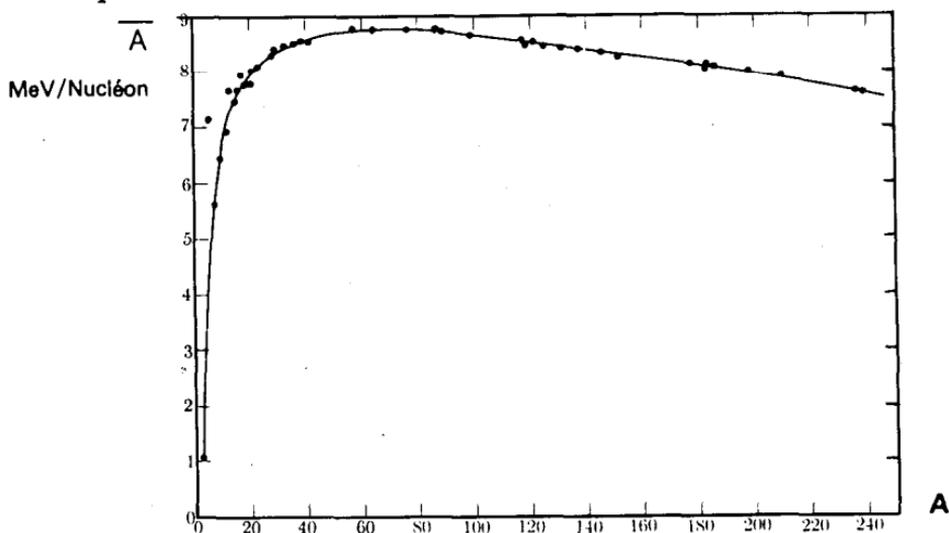


Fig. 1. — La courbe d'Aston avec E_L/A positif.

— L'énergie de liaison par nucléon E_L/A , quantité positive, dont l'évolution en fonction de A , est représentée par la courbe d'Aston (fig. 1) :

Le programme de terminale, dans ses commentaires, adopte ces conventions, et c'est ce que font aussi la majorité des auteurs de manuels scolaires. On ne saurait reprocher à ces auteurs d'avoir suivi le point de vue des laboratoires et des commentaires, mais une difficulté va en résulter car ces conventions sont inspirées des anciennes conventions des chimistes, alors que le programme de première est axé sur la convention thermodynamique des physiciens... et des chimistes actuels.

UNE CONVENTION PLUS LOGIQUE.

Lorsque l'on imagine que des nucléons libres se lient pour former un noyau, on sait que l'énergie interne du système va diminuer. Sa variation est :

$$\Delta E = E_1 - E_0 = [M - Z M_p - (A - Z) M_n] c^2$$

et la valeur de ΔE est négative, indiquant ainsi que le système est lié. C'est cette variation négative $\Delta E = -E_L$, avec E_L défini

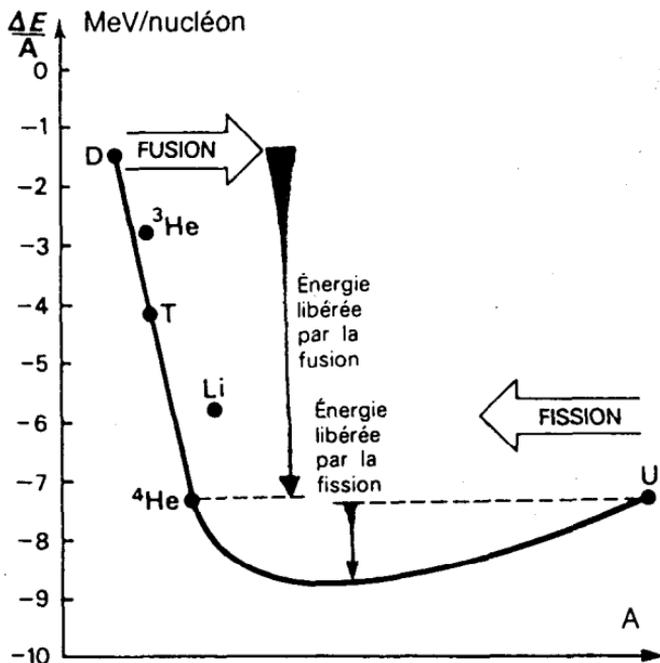


Fig. 2. — La courbe d'Aston avec $\Delta E/A$ négatif.

au paragraphe précédent, qu'il serait plus logique d'appeler énergie de liaison.

Un manuel de terminale a eu l'audace de faire le saut, et l'on m'a rapporté que ce ne fût pas sans discussions animées entre les auteurs. L'intérêt de cette nouvelle convention apparaît immédiatement dans la courbe d'Aston. Une *chute* vers les noyaux intermédiaires *libère* de l'énergie par fusion ou fission (fig. 2) et les conventions de représentation sont les mêmes que pour la désexcitation d'un atome par émission d'un photon (fig. 3) :

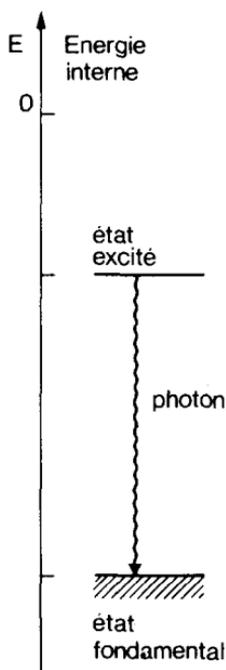


Fig. 3. — La désexcitation d'un atome.

ELEVES ET PROFESSEURS.

Les professeurs des lycées se trouvent confrontés, une fois de plus, à un problème délicat. Certains s'en tirent en donnant deux définitions :

- L'énergie de liaison, E_L , positive, conformément aux commentaires des programmes de terminale.
- La variation d'énergie interne, ΔE , négative, conformément aux commentaires des programmes de première.

Cette acrobatie de langage masque mal une redondance de définitions, et nous ne devons pas être étonnés que nos élèves

ne nous suivent pas toujours dans nos subtilités. On trouvera donc dans les copies du baccalauréat des courbes d'Aston avec la tête en haut ou en bas — quand ce n'est pas avec la tête de travers — et cela demande de la part du correcteur une grande souplesse et une grande attention pour s'assurer que le candidat a bien compris. *Tout le monde doit prendre conscience, ici, du risque d'une telle situation, et il est urgent d'adopter dans les commentaires une convention unique, qui ne peut être que la convention thermodynamique avec ΔE négatif.*

CONCLUSION OPTIMISTE.

Le présent article n'est pas destiné à susciter une querelle de plus ou de moins. La difficulté soulevée peut apparaître mineure aux physiciens des laboratoires, qui savent de quoi ils parlent, quel que soit le signe. Mais les enseignants ont le devoir de choisir des conventions qui facilitent la compréhension de leurs élèves. S'il est fréquent de voir les lycées suivre les laboratoires de recherches après un délai de rigueur, y a-t-il un inconvénient à ce que, cette fois, les enseignants soient en avance ?
