

# *Les mille vies de l'énergie*

## *Deuxième épisode*

Par Richard-Emmanuel Eastes\*, Bastien Lelu, Clovis Darrigan et Mélodie Robach  
Groupe Traces - Département d'Etudes Cognitives  
Ecole normale supérieure - 29 rue d'Ulm - 75005 Paris

### Résumé

*Même si elle se réfère toujours à la même propriété de l'univers, que tous les scientifiques représentent par la même grandeur de même dimension, la notion d'énergie ne revêt pas la même signification pour le physicien, le chimiste ou le biologiste<sup>1</sup>. De cette constatation est née l'idée de mettre en scène ces différents points de vue, en les faisant explorer par un personnage naïf. Habitué à mettre en scène des spectacles de clowns de sciences, notre choix se porta spontanément sur le clown Molécule, alors héros de l'un des spectacles des Atomes Crochus<sup>2</sup>. C'est cette histoire que nous vous contons ici, en plusieurs épisodes.*

Le lendemain de sa visite chez le Professeur Neutron (voir épisode précédent), Molécule se réveilla en grande forme et de très bonne humeur. Elle avait soudain les idées plus claires que la veille, et son insatisfaction s'était muée en une curiosité dévorante. Elle avala d'un trait un bol de chocolat chaud, sauta dans ses vêtements et reprit le chemin de l'université, bien décidée à rendre visite à un autre scientifique. Elle n'oubliait d'ailleurs pas sa quête initiale : arrêter le choix du système énergétique qui allait assurer le fonctionnement du chauffage de sa nouvelle maison et en outre, depuis la veille, comprendre la différence entre l'énergie qui manquait parfois à son organisme et celle qui allait chauffer son foyer.

Elle décida d'aller voir le Professeur Spatule qu'elle connaissait bien pour être un jour tombée par hasard dans son laboratoire. Elle y était arrivée un peu comme un chien dans un jeu de quilles, mais elle avait cependant saisi l'opportunité qui se présentait à elle pour apprendre auprès de lui ses premiers rudiments de chimie. Bien que ses souvenirs fussent désormais un peu flous, elle se souvint y avoir réalisé des expériences où flammes colorées, explosions, lumière froide, rayons ultraviolets et réactions chimiques *exothermiques*<sup>3</sup> se succédaient à qui mieux mieux. « Lui, il saura me dire ce que c'est que l'énergie », se dit Molécule. Comme le premier jour de leur rencontre plusieurs années auparavant, elle se rendit dans son laboratoire et, saisie par l'émotion, elle y pénétra un peu tremblante.

M : Professeur Spatule... Bonjour !

S : Tiens, Molécule ! Quel bon vent t'amène ? Puis-je te proposer un petit verre d'éthanol à 40% ? Ou peut-être veux-tu tremper une ou deux souris volantes dans l'azote liquide ?

M : Non, non ! Cette fois c'est sérieux ! Je viens vous parler d'énergie...

S : Allons bon ! Et que veux-tu faire avec l'énergie ? Gonfler tes ballons, faire voler tes souris plus vite et plus haut, réchauffer celles que je conserve dans la *neige carbonique*<sup>4</sup>, illuminer ton nez rouge, décomposer l'eau pour faire des bulles de savon explosives ?

M : Ah bon ! On peut faire tout cela avec de l'énergie ? Voilà qui me paraît plus concret que ce que m'a dit le Professeur Neutron. Tenez, voici les notes que j'ai prises lors de notre discussion ! J'en ai encore mal au crâne...

S : Voyons cela...

Quelques instants seulement suffirent au Professeur Spatule pour parcourir les notes de Molécule. En chimiste aguerrri, il avait largement étudié la physique et il comprit rapidement quelle avait été la teneur du discours de son collègue Neutron. Pendant ce temps-là, Molécule eut tout de même le loisir de se promener parmi les rayonnages de produits chimiques et de verrerie du laboratoire. Au fur et à mesure de sa progression, elle tentait de se remémorer les expériences qu'elle avait réalisées avec le Professeur Spatule, afin d'identifier celles qui faisaient appel à une forme quelconque d'énergie. À cette occasion, elle se rendit compte, non sans surprise, que pas une ne manquait de le faire. Mais elle fut interrompue dans ses réflexions par le Professeur Spatule...

S : Eh bien ! Cela ne m'a pas l'air bien sorcier ! Peut-être un peu conceptuel en effet, mais j'adhère totalement aux explications de mon collègue Neutron.

M : Ah bon ! Mais vous-même, définiriez-vous l'énergie de cette façon-là ?

S : A dire vrai, non. Ces définitions sont correctes, certes, mais elles ne sont pas d'une très grande facilité d'emploi pour le chimiste que je suis. Pour ma part, j'emploierais plutôt les termes suivants :

L'énergie est une *propriété* de la matière, susceptible d'être libérée ou absorbée lors des transformations *d'édifices moléculaires*<sup>5</sup> plus ou moins stables, sous forme de chaleur, de lumière, de courant électrique et dans certaines conditions, de travail moteur.

M : Cela ressemble à la définition du Professeur Neutron, mais votre définition est plus restrictive : elle ne concerne que les systèmes moléculaires.

S : Tous les systèmes moléculaires en effet, qu'ils soient microscopiques ou macroscopiques.

M : Alors comme ça, vous aussi vous utilisez l'énergie. Et comment nommez-vous la grandeur physique associée :  $E$  ou  $U$  ?

S : Nous la nommons  $U$ . Malheureusement Molécule, c'est une grandeur qui ne nous est pas vraiment utile ; elle a un peu trop de défauts pour les chimistes...

M : Des défauts ! Mais comment une propriété de la matière peut-elle avoir des défauts ? Que lui trouvez-vous de si répréhensible ?

S : A vrai dire, ce n'est pas la « propriété » *énergie* qui nous pose un problème, mais plutôt la grandeur physique qui lui est associée et que tu as appelée  $U$  ou  $E$ . En fait, cette grandeur ne peut nous être utile que dans certains cas seulement, lorsqu'il s'agit de décrire certains processus de *transformation* de la matière, ou les *interactions* de la matière avec les ondes électromagnétiques. Mais la plupart du temps, ce qui intéresse le chimiste, c'est de pouvoir relier ce qu'il mesure à une grandeur physique théorique avec laquelle il peut faire des calculs : en effet, la chimie est avant tout une science expérimentale !

M : Ah ça, j'ai pu m'en rendre compte le jour où j'ai travaillé avec vous ! Ainsi donc, si je comprends bien, le chimiste veut pouvoir mesurer simplement certaines propriétés de la matière, pour pouvoir ensuite « injecter » les valeurs qu'il a trouvées dans des formules mathématiques qui mettent en jeu les grandeurs physiques théoriques correspondantes.

S : Eh bien, Molécule ! Je vois que tu commences à comprendre beaucoup de choses ; c'est exactement cela ! En l'occurrence, ce qui est le plus facile à mesurer en matière d'énergie pour un chimiste, c'est la *chaleur* dégagée ou absorbée par un système siège d'une transformation physico-chimique. Malheureusement, pour diverses raisons un peu difficiles à expliquer en quelques mots<sup>6</sup>, cette quantité de chaleur mesurable est très difficile à corréler à la grandeur  $U$ ...

M : Et c'est pour cette raison que vous dites qu'elle a des défauts... Mais alors, quelle solution peut-on envisager ?

S : Bon. Tout simplement inventer une autre grandeur physique mieux adaptée à la chimie. Molécule, j'ai l'honneur de te présenter *l'enthalpie* ! «  $H$  » pour les intimes... Une nouvelle grandeur physique qu'il n'est pas du tout simple d'appréhender, mais qui rend bien des services aux chimistes. A vrai dire, lorsqu'ils ont fait sa connaissance, ils ne peuvent plus s'en passer et ils l'utilisent tout le temps. Oubliée, *l'énergie*<sup>7</sup> ...

M : Bon d'accord. Mais là, je ne sais plus trop où j'en suis. Moi qui, après avoir « subi » le discours du Professeur Neutron, voulais savoir un peu plus concrètement ce qu'était l'énergie, voilà qu'on me dit que c'est une grandeur qui ne sert à rien, ou presque. Et votre enthalpie au moins, elle vous suffit à faire tous vos calculs ?

S : Aïe... Malheureusement non, Molécule. Si elle est utile pour étudier les transferts de chaleur, cette grandeur s'avère absolument insuffisante pour étudier la stabilité des édifices moléculaires et supramoléculaires, ainsi que leurs évolutions. Ces deux propriétés dépendent en effet très fortement, en plus de l'énergie propre des édifices en question, du degré *d'organisation* des systèmes physico-chimiques qu'ils constituent !

M : Le degré d'organisation des molécules aurait donc une influence sur la stabilité de la matière ? Mais c'est de plus en plus compliqué ! Au moins avec le Professeur Neutron, il n'était question que d'énergie !

S : Eh oui ! Même si l'organisation de la matière est également un problème qui intéresse les physiciens. Ce sont d'ailleurs eux qui ont inventé pour nous les grandeurs que nous utilisons, telles que  $H$ ... ou «  $S$  ».

M :  $S$  ? Voilà autre chose !

N :  $S$ , c'est *l'entropie*, Molécule ! Ma grandeur favorite... C'est elle qui est chargée de représenter ce nouveau paramètre dont nous sommes obligés de tenir compte : elle indique le niveau de *désordre* d'un système physico-chimique.

M : Le désordre ! Alors là, j'ai l'impression que c'est une grandeur qui me serait bien utile pour savoir à quel moment il faut que je commence à songer à ranger ma chambre... en tout cas, son entropie doit être bien souvent très positive.

S : Par définition, elle ne peut être que positive, Molécule. Un désordre négatif, ça n'existe pas. Lorsque  $S = 0$ , il est nul et l'ordre est parfait<sup>8</sup>. Cette situation n'est atteinte qu'à la température de  $-273,15^{\circ}\text{C}$  ; au *zéro absolu*. Et pour un système quelconque *isolé*, c'est-à-dire auquel on n'apporte ni matière, ni énergie, et dont le volume reste constant, on peut montrer que l'entropie ne peut que croître lorsque l'on relâche une contrainte interne<sup>9</sup>.

M : Oui, en effet. Si je ne range pas ma chambre pendant un moment, jamais je ne vois son désordre diminuer spontanément. Par contre, même si je prête attention à ne rien déranger, il augmente malgré tout.

S : Et si tu n'y pénètres pas, les plantes vertes fanent, les feuilles en tombent et s'éparpillent... C'est comme l'entropie qui augmente spontanément !

M : Et pour diminuer le désordre de ma chambre, il faut que j'apporte de l'énergie pour la ranger...

S : Exactement. Tu as compris une loi fondamentale de la physique<sup>10</sup>.

M : Ah bon ? Tant mieux. Mais dites-moi, Professeur Spatule, nous nous éloignons drôlement de notre sujet ! Nous parlions de la « stabilité des édifices moléculaires ».

S : Oui. Eh bien celle-ci doit tenir compte des deux aspects que nous avons cités jusqu'à présent : l'enthalpie  $H$  et l'entropie  $S$ . Et lorsqu'on les réunit toutes les deux dans une même grandeur, on en obtient une troisième que l'on nomme  $G$ <sup>11</sup> ! Entrée en scène de *l'enthalpie libre* ! Le chouchou des chimistes.

M : L'enthalpie « libre » ! ? Vous avez vraiment trop d'imagination, vous, les scientifiques. Et c'est tout, cela vous suffit ?

S : Oui ! On peut tout décrire grâce à elle ! C'est en quelque sorte *l'énergie potentielle* des chimistes ; on la nomme d'ailleurs parfois *potentiel chimique*. Une merveille conceptuelle...

M : Alors là, moi qui pensais sortir des concepts, c'est encore pire qu'avant. Au moins le Professeur Neutron ne m'avait-il pas embrouillée avec toutes ces nouvelles grandeurs...

Au revoir Professeur, et merci !

Laissant le Professeur Spatule à son émerveillement devant son « enthalpie libre » chérie et qui ne l'entendit même pas, Molécule alla se rafraîchir les idées dans la cour de l'université. Après une boisson chaude à la cafétéria, elle eut tout de même le courage de relire ses notes. Peu à peu, elle parvint à se représenter les nouvelles grandeurs qu'avait introduites le Professeur Spatule, et à comprendre leur utilité. A peu près...

Tout cela n'était tout de même pas très opératoire, ni du point de vue de ses préoccupations écologiques, ni de celui de la compréhension de ses états de faiblesse passagers. Elle se donna donc encore un ou deux jours pour se décider et se dit qu'il existait peut-être un troisième scientifique, au sein de cette université, susceptible de lui apporter quelques éléments de réponse aux questions qu'elle se posait. Elle rentra chez elle enthousiaste et d'un pas décidé.

La suite au prochain épisode !

---

<sup>1</sup> Nous tenons à remercier ici André Giordan, pour les réflexions qu'il initia chez nous sur ce sujet.

<sup>2</sup> [www.atomes-crochus.org](http://www.atomes-crochus.org)

<sup>3</sup> Se dit des réactions chimiques qui libèrent de l'énergie sous forme de chaleur. *A contrario*, celles qui se déroulent en en puisant dans le milieu extérieur sont dites *endothermiques*. Celles qui ne font ni l'un ni l'autre sont dites *athermiques*.

<sup>4</sup> La neige carbonique est le nom courant du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) solide, qui se *sublime* (passe directement de l'état solide à l'état gazeux) à la température de -78°C.

<sup>5</sup> ... ou *supramoléculaires*. Un édifice *moléculaire* est un assemblage d'*atomes* ou d'*ions*, un édifice *supramoléculaire* un assemblage de *molécules*.

<sup>6</sup> Le chimiste travaillant toujours à pression constante (la pression atmosphérique) et non à volume constant, le *travail* (non mesurable facilement) des forces de pression lors d'une transformation physico-chimique n'est pas nul. Or il contribue lui aussi à la variation de l'énergie *U* du système considéré.

<sup>7</sup> L'enthalpie est toutefois une grandeur du même type que l'énergie (elle possède la même dimension) et s'exprime avec la même unité.

<sup>8</sup> En fait, le principe de Nernst dont est issu cette affirmation assure que l'entropie tend vers une valeur finie à température nulle, mais pas nécessairement 0.

<sup>9</sup> Il s'agit du *second principe de la thermodynamique*, que l'on retrouve à partir de la physique statistique, et qui est d'un intérêt fondamental pour les prédictions qu'il permet d'établir quant à l'évolution et la description des systèmes chimiques.

<sup>10</sup> *Idem*.

<sup>11</sup> Par définition,  $G = H - T.S$ , où *T* est la température absolue du milieu dans lequel se trouve le système physico-chimique considéré.