





M A G I Q U E  
A T O M E



T I M J A M E S

M A G I Q U E  
A T O M E

Traduit de l'anglais par Benjamin Peylet

**DUNOD**

Du même auteur :  
*Magique quantique*  
*Magique cosmos*

Copyright © Tim James 2018

First published in Great Britain in 2018 under the title *Elemental*  
by Robinson

L'édition originale de cet ouvrage a été publiée en Grande-Bretagne  
sous le titre *Elemental* par Robinson.

Direction artistique: Nicolas Wiel  
Couverture: Julie Coinus  
Illustration de couverture: Shutterstock © Art\_of\_sun

© Dunod, 2022 pour la traduction française  
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff  
www.dunod.com  
ISBN 978-2-10-083921-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122.4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Prologue  
Dans la cuisine du réel





Il y a quatorze milliards d'années, notre univers a décidé son commencement. Nous ne savons pas ce qu'il y avait avant (ou même s'il y avait un *avant*), seulement qu'il s'est mis à s'étendre dans toutes les directions et qu'il continue depuis.

Dans les premières nanosecondes après le Big Bang, toute la réalité n'était qu'une soupe de particules bouillonnante, des millions de fois plus chaude que le Soleil. Et puis tout s'est étendu, tout a refroidi, les particules se sont stabilisées et alors sont nés les éléments.

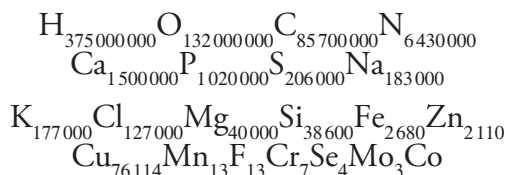
Les éléments sont les ingrédients de base que la nature emploie pour sa cuisine cosmique, les substances les plus pures, celles qui composent tout, des betteraves aux vélos. L'étude des éléments et de leur usage constitue ce qu'on appelle la chimie, un mot aux associations malheureusement désastreuses dans l'esprit de beaucoup.

Le rédacteur d'un site de santé très connu s'est récemment plaint des « produits chimiques qu'on trouve dans notre alimentation », donnant quelques conseils pour manger « sans produits chimiques ». Ces marchands de peur semblent penser que les produits chimiques ne sont que des toxines conçues par des fous en blouse blanche, une vision très étroite de la réalité. Les produits chimiques ne sont pas que ces liquides qui bloblotent dans des tubes à essai : ce sont aussi les tubes à essai eux-mêmes !

Les vêtements que vous portez, l'air que vous respirez et la page que vous regardez là maintenant sont des produits chimiques. J'ai bien peur que vous nourrir sans produit chimique soit peine perdue: la nourriture *est* un ensemble de produits chimiques.

Mettons qu'on mélange deux portions d'hydrogène pour une portion d'oxygène. En notation scientifique, on écrit ça  $H_2O$ , de l'eau, le produit chimique le plus connu du monde. Ajoutez un poil de carbone et vous obtenez  $C_2H_4O_2$ , du vinaigre blanc. Multipliez tous les ingrédients par trois, nous voilà avec  $C_6H_{12}O_6$  mieux connu sous le nom de sucre.

La seule différence entre la cuisine et la chimie, c'est que, là où une recette parlera d'un légume, la chimie ira plus loin et dira ce dont le légume est fait. Il n'y a pratiquement aucune limite à ce qu'on peut décrire une fois connus les éléments qui le composent. Prenez ce monstre, par exemple<sup>1</sup>:



On dirait un truc trouvé au fond d'un baril de déchets toxiques, mais c'est en réalité la formule d'un être humain. Il faudrait en fait multiplier tous ces nombres par sept cent mille milliards, mais ce sont les bons éléments dans les bonnes proportions pour un corps humain. Si quelqu'un vous dit craindre les produits chimiques, rassurez-le: c'est lui-même un produit chimique.

La chimie n'est pas un sujet abstrait cantonné aux laboratoires obscurs: c'est ce qu'il se passe tout autour de nous et même en nous.

Afin de comprendre la chimie, il nous faut comprendre le « tableau périodique des éléments », cette chose hideuse qui devait probablement pendouiller à un mur dans l'une de vos salles de classe. Avec cette façon qu'il avait de vous toiser du haut de toutes ses cases, de toutes ses lettres et de tous ses nombres, le tableau périodique des éléments devait vous paraître intimidant. Ce n'est pourtant rien de plus

qu'une liste d'ingrédients. Une fois que vous avez appris à le décoder, ce tableau devient votre meilleur allié pour expliquer tout l'univers.

Oui, le tableau périodique des éléments est complètement bizarre et sérieusement compliqué. Mais c'est le cas général dans la nature! C'est ce qui rend son étude intéressante et c'est ce qui la rend belle.



1

# Chasseurs de flammes



## LA SUBSTANCE LA PLUS INFLAMMABLE DE L'HISTOIRE

La chimie a véritablement commencé le jour où nous avons maîtrisé notre première réaction chimique : mettre le feu à des trucs. La capacité de créer et de contrôler le feu nous a aidés à chasser, cuisiner, repousser les prédateurs, nous tenir chaud en hiver et fabriquer des outils primitifs. Au départ, nous brûlions surtout du bois et des graisses, mais en réalité la plupart des substances sont combustibles.

Les choses s'enflamment en raison de la présence d'oxygène, un des éléments les plus réactifs qui soient. Si tout ne prend pas feu constamment, c'est uniquement parce que l'oxygène, bien que très réactif, a besoin d'énergie pour provoquer la combustion. C'est pourquoi démarrer un feu requiert aussi chaleur ou friction. L'oxygène doit être chauffé pour s'enflammer.

Cependant, une substance, la plus inflammable jamais conçue, encore bien plus que l'oxygène, a été produite en 1930 par deux scientifiques nommés Otto Ruff et Herbert Krug<sup>1</sup>. Je vous présente le trifluorure de chlore.

Assemblage des éléments chlore et fluor dans un rapport d'un pour trois, le trifluorure de chlore est la seule substance connue à pouvoir enflammer littéralement tout ce qu'il touche, même les matériaux ignifuges.

Le  $\text{ClF}_3$ , liquide vert à température ambiante et gaz incolore lorsqu'on le chauffe, enflamme le verre et le sable. Il enflamme l'amiante et le Kevlar (la matière dont sont faites les tenues de pompier). Il enflamme jusqu'à l'eau elle-même, crachant des panaches d'acide fluorhydrique au passage<sup>2</sup>.

On en connaît toutefois très peu d'exemples d'utilisation, en raison de sa gênante propension à enflammer tout ce qu'il touche. Il faut vraiment avoir un grain particulièrement énorme pour se dire « Tiens, je vais essayer ça ! ».

Le plus spectaculaire des accidents impliquant du  $\text{ClF}_3$  a eu lieu à une date non communiquée dans une usine chimique de Shreveport, en Louisiane. Une tonne de ce produit y était déplacée en cylindre scellé, réfrigérée pour l'empêcher de réagir avec le métal. Malheureusement, le froid a rendu le métal cassant, jusqu'à rompre le cylindre qui a déversé son contenu partout. Le  $\text{ClF}_3$  a instamment mis le feu au sol de béton qu'il a creusé sur plus d'un mètre avant de s'éteindre. L'homme qui déplaçait le cylindre aurait été propulsé dans l'air à 150 m de là et retrouvé mort d'une attaque cardiaque. Et ça, c'était du trifluorure de chlore réfrigéré<sup>3</sup>.

Durant les années 1940, quelques essais prudents ont été effectués en vue de s'en servir de carburant pour missiles, mais il a immanquablement mis le feu aux missiles eux-mêmes, si bien que ces projets ont été laissés de côté.

Les seuls à s'être lancés dans des tentatives sérieuses pour apprivoiser sa puissance ont été les chercheurs nazis en poste dans le bunker de Falkenhagen<sup>4</sup>. L'idée était de l'utiliser comme carburant de lance-flammes, mais il mettait le feu au lance-flammes et à quiconque le portait, si bien que, là encore, on l'a jugé inexploitable.

Pensez-y. Non seulement il met le feu à l'eau, mais le trifluorure de chlore est si profondément mauvais que même les nazis n'ont pas pu l'exploiter. Qu'est-ce qui le rend si puissant ?

La raison est que le fluor se comporte de manière très similaire à l'oxygène mais nécessite moins d'énergie pour déclencher la combustion. C'est l'élément le plus réactif du tableau périodique des



éléments, plus efficace encore que l'oxygène pour *oxyder* les substances. C'est pourquoi, quand on le mélange au chlore, le deuxième élément le plus réactif, on obtient cette alliance impie qui enflamme tout sans qu'on lui demande.

## DU FEU AVEC DE L'EAU

Le philosophe grec Héraclite aimait tant le feu qu'il l'a déclaré la plus pure des substances, la matière primordiale dont était faite la réalité. Selon lui, tout était fait à partir du feu d'une manière ou d'une autre. Le feu était, autrement dit, *élémentaire*.

C'est une hypothèse compréhensible, tant le feu semble doué de pouvoirs magiques. Bon, Héraclite suivait un régime à base d'herbe et rien d'autre, et il a voulu guérir son hydropisie en s'allongeant trois jours dans une étable recouvert de purin... après quoi il a fini dévoré par des chiens<sup>5</sup>. Aussi paraît-il prudent de ne pas prendre trop au sérieux les idées d'Héraclite.

Si les éléments étaient si difficiles à identifier durant l'Antiquité, c'est que, à l'insu des premiers philosophes, bien peu se trouvent à l'état pur. La plupart sont instables et se combinent pour former des fusions d'éléments qu'on nomme des *composés*.

Cela fonctionne un peu sur le modèle du bar de célibataires. Les personnes seules ne sont pas heureuses comme ça et cherchent à se lier à d'autres pour former des appariements stables. À la fin de la soirée, la plupart des individus ont formé des composés, ce qui fait augmenter la stabilité générale. Seuls quelques éléments tels que l'or, qui se moquent d'être seuls, demeurent dans leur état initial.

Presque tout ce que nous croisons dans la nature est composé. Même si le sel de table paraît pur, les dés sont pipés. Le sel de table est en réalité un composé de sodium et de chlore, qui sont les éléments véritables.

Vous ne trouverez jamais de morceau de sodium par terre ni de nuage de chlore dérivant au vent, car ces deux éléments sont violemment réactifs. Cela les rend virtuellement indétectables, surtout

quand on ne dispose que des frustes outils de laboratoire du premier millénaire.

Il faut dire aussi que certains éléments sont incroyablement rares. Prenez par exemple le protactinium, employé dans la recherche en physique nucléaire: tout le stock mondial est issu d'un même morceau pesant 125 g que détient l'Autorité de l'énergie atomique britannique<sup>6</sup>. Avec de telles embûches posées sur leur chemin, les philosophes grecs n'avaient aucune chance de comprendre.

Ce n'est qu'à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle qu'un expérimentateur allemand nommé Hennig Brandt a prouvé que les substances de tous les jours renfermaient en réalité des éléments purs, et que ce qu'on croyait pur jusqu'alors ne l'était généralement pas du tout.

Lors d'une nuit de 1669, Brandt faisait bouillir de grosses quantités d'urine dans son laboratoire (à chacun ses passions), probablement en raison de cette couleur dorée qu'on lui connaît. Il espérait gagner fortune en la faisant se solidifier en ce précieux métal.

Après bien des heures d'un travail qu'on imagine plutôt déplaisant, Brandt avait obtenu un sirop rouge et épais, ainsi qu'un résidu noir semblable au pain brûlé. Il a mélangé tout ça et chauffé le mélange une fois de plus. Il n'a rien compris à ce qu'il s'est passé ensuite.

Son mélange de sirop d'urine et de charbon de cuisine a soudain formé un solide cireux qui dégageait une puissante odeur d'ail et brillait d'un vert bleuté. De plus, le produit était très inflammable et émettait une lumière blanche aveuglante quand il brûlait. Il avait en quelque sorte extrait du feu de l'eau.

Brandt a nommé ce produit le phosphore, du grec «porteur de lumière», et il a passé les six années suivantes à expérimenter en secret les propriétés de cette matière. Ces six années n'ont pas été exaltantes. Pour chaque portion de 60 g de phosphore obtenue, il lui fallait faire bouillir cinq tonnes et demie d'urine.

Brandt a fini par épuiser les réserves d'argent de sa femme, il a alors rendu publique sa découverte et s'est mis à vendre du phosphore à Daniel Kraft, l'un des premiers vulgarisateurs scientifiques,

qui entreprit une tournée de démonstrations destinées à ravir les têtes couronnées et les institutions scientifiques dans toute l'Europe<sup>7</sup>.

Brandt a cependant gardé secrète sa méthode d'extraction. Il est d'ailleurs étonnant que personne ne l'ait jamais devinée. Il devait avoir inventé un mensonge en béton pour expliquer pourquoi il avait besoin d'autant d'urine.

Aujourd'hui, nous comprenons exactement le processus à l'œuvre dans la méthode de Brandt. L'apport journalier recommandé de phosphore est de 0,5 à 0,8 g mais comme tout ce que nous consommons en contient un peu, nous ingurgitons environ deux fois cette dose quotidienne et l'excès passe dans l'urine. Brandt faisait simplement bouillir tout le reste.

Sa découverte a été un moment crucial de l'histoire de la chimie, car le phosphore extrait était complètement différent de sa source. L'urine ne brille pas dans le noir (malheureusement), mais elle contient de toute évidence un produit chimique dont c'est la propriété. C'était la preuve que des produits chimiques se cachaient sous nos yeux. Les éléments n'étaient plus hors d'atteinte.

### CELUI QUI JOUA AVEC LE FEU

Au début du XVIII<sup>e</sup> siècle, le chimiste allemand Georg Stahl, armé de ce savoir nouveau posant que les substances du quotidien pouvaient être composées d'éléments cachés, décida d'avancer une explication de ce qu'est le feu.

Quand les métaux brûlent, ils forment des poudres colorées, qu'on appelait alors des chaux, notoirement difficiles à enflammer. Stahl en a conclu qu'il s'agissait d'éléments, et qu'ils ne s'enflammaient pas parce que le feu en avait été ôté.

Selon son hypothèse, tout ce qui était inflammable contenait une substance qui s'échappait dans l'air sous l'effet de la chaleur, ne laissant derrière elle que les restes consumés. Cette substance a été dénommée le phlogistique, du grec *phlogizein* (enflammer). Stahl pensait que tout feu était du phlogistique se séparant de la chaux<sup>8</sup>.