

7 mai 1877, à l'Académie, il montre que la loi d'Avogadro-Ampère n'est que le développement des lois dont les équivalentistes se réclament, notamment celle de Gay-Lussac.

Le 21 mai, Sainte-Claire Deville remonte à la tribune et prouve par des résultats expérimentaux que la loi d'Avogadro-Ampère ne s'applique pas à tous les éléments, notamment à la chimie minérale. En cela, il revient aux arguments de Dumas de 1836 : la loi ne s'applique pas pour le phosphore, le mercure, etc. Wurtz reconnaît alors que la loi s'applique mieux en chimie organique, mais il l'explique : la loi s'applique aux corps volatils, or certains corps minéraux se décomposent lorsqu'on les réduit en vapeur.

Peut-on fonder une science sur l'invisible ?

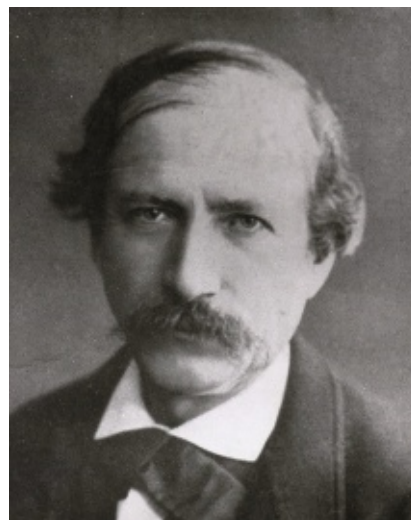
La discussion est purement scientifique, fondée sur les résultats d'expériences sur l'hydrate de chloral, le chlorhydrate d'ammoniaque, etc. Pourtant, Berthelot aimerait déplacer le débat du champ expérimental vers la philosophie des sciences. Une science peut-elle être fondée sur de l'hypothèse ?

Le 28 mai, il intervient dans la discussion avec la conviction qu'il va régler le conflit entre atome et équivalent. D'emblée, Berthelot place le débat sur le plan épistémologique en essayant de démontrer la confusion entre loi et hypothèse, imagination et observation. La loi d'Avogadro-Ampère, par exemple, déjà remise en question par Sainte-Claire Deville, ne peut pas être une loi puisqu'elle prétend compter des molécules et des atomes alors que ceux-ci restent invisibles.

Wurtz ne peut accepter que le débat sorte du champ expérimental. Au risque de se discrediter en tant que scientifique, il ne peut, comme dans un discours en province, avouer fonder sa pratique scientifique sur l'invisible à un moment de l'histoire des sciences où seules l'expérimentation et l'observation sont garantes de la démarche scientifique. Pour couper court à la discussion, il affirme lui aussi, mais de mauvaise foi, le caractère hypothétique de l'atome. Pour lui, seule la notation est ici en jeu. Au cas où Berthelot voudrait revenir sur le sujet, il ajoute : « Au fond de votre notation en équivalents se



Le monde illustré, 24 mai 1884, Collection privée



Musée Curie (coll. A.C.C.)

3. LE CHIMISTE CHARLES-ADOLPHE WURTZ (1817-1884) fut toute sa vie un ardent défenseur de l'idée d'une matière constituée d'atomes (*à gauche*). Il eut plusieurs adversaires, dont Marcellin Berthelot (*à droite*), qui ne pouvait concevoir une science fondée sur des éléments invisibles.

cache la même idée de petites particules et vous y croyez comme nous. »

Entre le 9 avril et le 25 juin, les académiciens assistent à 16 interventions sur le sujet. Pour la première fois, il n'y a ni vainqueur ni vaincu entre Wurtz et Berthelot. Wurtz n'a pas avoué qu'il croyait à l'atome en tant qu'entité réelle et a bien montré la fécondité de la théorie atomique. Quant à Berthelot, en condamnant publiquement l'utilisation d'hypothèses dans les sciences, il peut aussi repartir en vainqueur.

Wurtz meurt en 1884. Ses plus fidèles élèves – Henninger, Friedel, Scheurer-Kestner – le suivent de peu. Berthelot subsiste. L'atome réapparaît dans les manuels scolaires en 1894. La notation atomique a presque gagné. Néanmoins, la plupart des chimistes atomistes, même parmi les élèves de Wurtz, affirment encore ne pas croire en l'existence réelle des atomes. En 1900, alors qu'il est au sommet de sa gloire et de son pouvoir, Berthelot affirme qu'il ne veut pas « que l'on croie en l'existence réelle des atomes comme on croit en l'existence de Jésus dans l'hostie consacrée ». Il finit par utiliser la notation atomique, mais meurt en 1907 sans avoir jamais cru en l'existence de l'atome, alors même que les physiciens essaient d'en comprendre la constitution et que la découverte de l'électron a déjà dix ans...

✓ BIBLIOGRAPHIE

N. Pigeard-Micault, **Charles-Adolphe Wurtz. Un savant dans la tourmente**, Hermann/ADAPT-SNES, 2011.

C. Lécaille, **L'atome : chimère ou réalité ? Débats et combats dans la chimie du XIX^e siècle**, Vuibert/ADAPT-SNES, 2009.

B. Bensaude-Vincent et I. Stengers, **Histoire de la chimie**, La Découverte, 1993.

P. Radvanyi et M. Bordry, **Histoire d'atomes**, Belin, 1990.

□ LOGIQUE & CALCUL

L'impossible hasard

Depuis les premiers dés, il y a trois millénaires, l'homme imagine et fabrique des objets pour produire du hasard. A-t-il réussi ?

Jean-Paul DELAHAYE

La nouvelle de Jorge Luis Borges intitulée *La loterie à Babylone* se déroule dans l'antique Mésopotamie. Cette loterie distribue des lots aux gagnants et, forte de son succès, se diversifie en prenant une importance grandissante. On y gagne et l'on y perd toutes sortes de biens matériels ; elle intervient dans les décisions familiales, sociales et politiques : elle vous envoie en prison, fait de vous un ministre, fixe le sort de vos enfants, etc. Elle évolue à nouveau, pour devenir cachée et obligatoire. Finalement, plus personne ne sait ce qu'elle décide pour les gens et les choses et l'on doute même de son existence !

Ce hasard, que Borges imagine, joue avec nous à chaque instant. Que savons-nous de lui ? Avons-nous la capacité de le produire et sommes-nous certains que ce que nous croyons être du hasard l'est réellement ?

Ces questions sont importantes pour assurer que les lote-

ries et les jeux sont équitables. Elles sont essentielles quand nous voulons mener des simulations et cruciales pour la mise en œuvre des méthodes mathématiques de calcul de type Monte-Carlo où la justesse et la précision du résultat dépendent de la qualité du hasard utilisé ou de certaines propriétés du pseudo-hasard mis en œuvre (voir l'article de Brian Hayes dans *Pour la Science* de décembre 2011). Enfin, en cryptographie, le hasard est au cœur de nombreuses méthodes, dont la résistance aux attaques est liée à sa plus ou moins grande perfection.

Nous aborderons ici le hasard de la physique et particulièrement celui des lancers de pièces et des dispositifs quantiques.

Tests, compression et prédiction

La théorie des probabilités contourne le problème de la définition du hasard en raisonnant sur l'ensemble des cas possibles – par exemple les six faces d'un dé – sans indiquer ce qu'est une suite aléatoire de lancers de dé ou de pile ou face. En fait, définir ce qu'est une suite aléatoire a longtemps semblé impossible. En 1965, le Suédois Per Martin-Löf a proposé une définition : une suite infinie de 0 et de 1 est aléatoire lorsqu'elle passe tous les tests statistiques raisonnables. Cette idée a été acceptée



1. Les procédés physiques macroscopiques

Les moyens physiques pour engendrer le « hasard » sont nombreux... et pas toujours équitables. On retrouve périodiquement lors de fouilles des dés romains (à gauche en bas de la page ci-contre). Les mêmes dés sont utilisés dans le jeu de Craps des pays anglo-saxons. Les roues de loterie où l'on pouvait gagner des kilos de sucre attiraient les badauds des années 1950 qui avaient été privés de sucre pendant la Seconde Guerre mondiale (on notera l'escroquerie de l'épaisseur des bandes de gain des gros montants de kilos de sucre).

La roulette et sa variante la boule sont les instruments du casino. Le rééquilibrage des roues et les plots que heurtent la bille lors de sa descente augmentent la sensibilité aux conditions initiales.

Les machines à sous, dénommées parfois bandits manchots, ont été inventées à San Francisco par Charles Fey vers 1890. Deux

méthodes différentes sont utilisées pour engendrer le hasard. Dans un premier temps, le mécanisme à produire du hasard était macroscopique et déterministe : la force avec laquelle on lançait les roues (initialement il y en avait trois) en tirant sur le bras de la machine déterminait le résultat. Le mécanisme était conçu pour qu'aucun contrôle précis ne soit possible et la machine était assimilable à une loterie ou à une roulette de casino enfermée dans une boîte. Bien sûr, des trucages mécaniques favorisant certaines combinaisons étaient possibles.

À partir des années 1960, ces machines sont devenues électroniques : un générateur algorithmique pseudo-aléatoire produit plusieurs dizaines de fois par seconde des chiffres sans jamais s'arrêter. Ces chiffres sont effacés de ses mémoires et ce n'est qu'au moment où l'utilisateur joue (en appuyant sur un bouton ou en tirant

le bras de la machine) que les derniers chiffres produits sont exploités. Ils déterminent alors une combinaison qui est affichée sur l'écran de la machine (après un délai et une animation factices) et qui fixe le résultat du jeu, provoquant, lorsque c'est nécessaire, la chute d'une quantité de pièces.

Ce procédé est-il convenable ? Si on exclut les tricheries passant inaperçues aux yeux des organismes officiels chargés de contrôler les machines, le procédé est satisfaisant aussi bien pour les joueurs que pour les propriétaires des machines.

D'une part, le propriétaire peut choisir la machine qu'il veut (ou plus tard la modifier en changeant certains composants électroniques) pour que le pourcentage d'argent redonné en moyenne aux joueurs soit celui qu'il décide (en général entre 75 % et 99 %). Ce pourcentage sert parfois d'argument publicitaire. Il peut aussi choisir une machine qui donne

souvent de petits lots et rarement des gros, ou le contraire (cela tout en respectant le pourcentage d'argent redonné en moyenne aux joueurs et fixé à l'avance).

D'autre part, une fois la machine fermée, personne ne peut tricher. Personne n'a d'informations sur l'état du générateur pseudo-aléatoire qui tourne en continu et, de plus, le geste du joueur n'est pas assez précis pour qu'il contrôle l'instant où il joue.

Le fait que ce mode de fonctionnement soit convenable pour tous ne signifie pas que le processus général du jeu produit des suites aléatoires au sens fort. En interne, il n'y a pas d'aléa puisque ce qui se passe est algorithmique. Quant au joueur, il se peut qu'il appuie inconsciemment d'une manière régulière. Rien n'assure donc que les suites de résultats d'une machine de casino soient aléatoires au sens de Martin-Löf.

