

Le calorique de Lavoisier : un siècle d'évolution, de l'invention à la disparition

Résumé Cet article présente la théorie du calorique établie vers 1789 par Lavoisier à la suite de ses principaux travaux sur la chaleur entre 1777 et 1783. Il montre à quel point cette théorie peu connue du public aujourd'hui fut importante dans l'œuvre de Lavoisier, dans l'histoire des théories scientifiques du XIX^e siècle, et qu'elle est donc d'intérêt pour l'enseignement des sciences.

Mots-clés Lavoisier, Laplace, calorique, phlogistique.

Abstract **The caloric theory of Lavoisier: a century of evolution, from invention to disappearance**
Among the community of historians of science and teachers, who knows the caloric theory founded by Laplace and Lavoisier? The caloric theory was not just an item of propaganda created by Lavoisier to overwhelm the phlogiston theory. Significant to Lavoisier, this theory had a role in the history of science during the end of the 18th century and a long part of the 19th. This article shows how substantial was this theory to Lavoisier, for the science of the 19th and so tries to arouse the teachers' interest to use it: this theory is being a relevant example to illustrate science in action.

Keywords Lavoisier, Laplace, caloric, phlogiston.

Si on interroge aujourd'hui les historiens et les enseignants des sciences, que peuvent-ils nous dire de la théorie du calorique ? Peu connu, méconnu, voire inconnu de beaucoup, ce concept né des travaux communs d'Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) et Pierre Simon de Laplace (1749-1827) sur la chaleur joue cependant un rôle non négligeable dans le travail de Lavoisier pour élaborer sa théorie de la combustion. Plus encore, la théorie du calorique s'est imposée durant une grande partie du XIX^e siècle comme le modèle incontournable d'une théorie de la chaleur qui ne fut « renversée » qu'après bien des efforts et l'avènement de la thermodynamique. Cette théorie illustre aussi un modèle de la science en mouvement, en gestation, qui, en attendant une théorie complète, utilisait faute de mieux un modèle accepté quoiqu'imparfait. Une imperfection qui la rend d'une grande richesse pour les enseignants qui cherchent à illustrer la démarche scientifique.

Du phlogistique au calorique : naissance d'une théorie controversée

Avant l'apparition du calorique, c'est à l'aide du phlogistique que l'on tente d'expliquer les réactions de combustion et de calcination. C'est une théorie globalement admise en Allemagne et en Angleterre, conçue à partir des travaux de Johann Becher (1635-1682) et de Georg Stahl (1659-1734) et qui possède une réputation indéniable. Antoine Fourcroy (1755-1809), collaborateur de Lavoisier et professeur de chimie au Jardin des Plantes, écrit au sujet de Stahl : « Il fixa pour un demi-siècle la théorie de la science chimique dont il a su représenter l'ensemble le plus important, le système le mieux lié et le plus étendu [...]. L'illustre Stahl [...] a imaginé sur le feu combiné un ingénieux système qu'il accorda avec tous les faits déjà connus jusqu'à lui, et qui, sous le nom de phlogistique, nommé auparavant terre inflammable par Beccher, offrit pour la première fois une idée mère embrassant toute la science en réunissant toutes les parties » [1]. Cette théorie, dont on reconnaît l'efficacité, s'est à son tour répandue en France. Diffusée tout d'abord par l'intermédiaire des cours du Jardin

des Plantes au début du XVIII^e siècle, elle se fait ensuite connaître par la diffusion de deux ouvrages, *Nouveau cours de chymie suivant les principes de Newton et Stahl* (rédigé par Jean-Baptiste Senac (1693-1770) et publié en 1723) et la traduction en français des *Éléments de chymie, suivant les principes de Becker et de Stahl* que l'on doit à Jacques-François Demachy (1728-1803) et publié en 1757.

Accepté par les chimistes de toute l'Europe, le phlogistique est cependant une doctrine (c'est le mot d'usage à cette époque) qui se base sur une interprétation soustractive des phénomènes qui ont lieu durant la combustion : c'est cette matière du feu qui s'échappe du métal. Et c'est en s'échappant que le phlogistique fait perdre au métal sa nature et le transforme en chaux. Les manifestations courantes de cette substance sont alors la chaleur et la lumière observées. Pour Lavoisier, l'idée d'une perte de matière au cours de la transformation chimique n'est pas envisageable. Tout d'abord parce qu'il raisonne en physicien et que la matière doit se conserver et que dès 1772, il constate qu'au cours de la combustion d'un métal (ou de tout autre corps combustible), il y a au contraire accroissement de la masse. Son idée d'une théorie de la combustion est donc additive et elle va motiver une grande partie de ses recherches durant les années 1770. Elle le conduit finalement à être en mesure de pouvoir réfuter l'existence du phlogistique : « C'est que l'existence de ce principe me paraît absolument hypothétique. Cet être, introduit par Stahl dans la chimie, loin d'y avoir porté la lumière, me paraît en avoir fait une science obscure et inintelligible pour ceux qui n'en ont pas fait une étude très-particulière ; c'est le Deus ex machina des métaphysiciens un être qui explique tout, et qui n'explique rien, auquel on suppose tour à tour des qualités opposées. Au reste, je reviendrai incessamment sur cet objet dans des mémoires particuliers, et je ne négligerai d'entrer dans aucun des détails qui me paraîtront nécessaires pour faire voir que l'existence du phlogistique n'est nullement prouvée, et qu'on peut se passer de l'admettre pour expliquer tous les phénomènes de la physique et de la chimie » [2]. Lavoisier, de son propre aveu, est donc bien engagé dans une démarche qui va l'amener à devoir remplacer le phlogistique par un concept alternatif.

Description de la théorie du calorique

Le calorique, comme matière du feu et alternative au phlogistique, va résulter des travaux développés par Lavoisier durant les années 1780. Il prend ses origines dans les recherches que fait Lavoisier avec Laplace sur la chaleur dont les idées et les expériences sont rassemblées dans le mémoire du même nom. Ce *Mémoire sur la chaleur*, présenté à l'Académie des sciences en 1783, fait état du fait qu'il existe à ce stade du développement de la physique deux théories de la chaleur qui partagent les physiciens : « *Plusieurs d'entre eux la regardent comme un fluide répandu dans toute la nature, et dont les corps sont plus ou moins pénétrés [...]. D'autres physiciens pensent que la chaleur n'est que le résultat des mouvements insensibles des molécules de la matière. On sait que les corps, même les plus denses, sont remplis d'un grand nombre de pores ou de petits vides, dont le volume peut surpasser considérablement celui de la matière qu'ils renferment; ces espaces vides laissent à leurs parties insensibles la liberté d'osciller dans tous les sens, et il est naturel de penser que ces parties sont dans une agitation continuelle* » [3]. Ainsi la chaleur peut résulter de l'existence d'un fluide ou bien de l'agitation des molécules. Quoi qu'il en soit pour les deux académiciens, les deux approches sont valables : « *Nous ne déciderons point entre les deux hypothèses précédentes; plusieurs phénomènes paraissent favorables à la dernière; tel est, par exemple, celui de la chaleur que produit le frottement de deux corps solides; mais il en est d'autres qui s'expliquent plus simplement dans la première; peut-être ont-elles lieu toutes deux à la fois* ». Il est à noter donc que la théorie de la chaleur admise par Lavoisier et Laplace est duale. Leur approche reste par la suite tout aussi pragmatique : pour observer les phénomènes qui les intéressent, les échanges de chaleur, il faut parmi ses effets « *en choisir un, facile à mesurer, et qui soit proportionnel à sa cause, cet effet représentera la chaleur* ». L'appareil de mesure en question sera le thermomètre et le dispositif qui permettra de mesurer les échanges de chaleur, qui ne possède pas (encore) de nom, est simplement appelé machine à glace.

Au fur et à mesure que les idées de Lavoisier vont se développer sur sa théorie de la combustion, qu'il confirme l'existence de l'oxygène, de l'hydrogène, de la constitution de l'eau, l'idée d'une chaleur matérielle va prendre de plus en plus d'importance dans son travail. En 1787, le mot calorique fait son apparition : « *Nous avons pensé qu'il fallait distinguer la chaleur, qui s'entend ordinairement d'une sensation, du principe matériel qui en est la cause, et nous avons désigné ce dernier par le mot calorique* » [4]. Enfin, en 1789, Lavoisier développe la théorie du calorique dans le *Traité élémentaire de chimie*. Il explique que ce sont ces vides, ces espaces entre les molécules de matière qui sont occupés par le calorique et que, sous son influence, se repoussent les molécules. Le calorique devient alors un fluide dans lequel sont plongés les corps, mais il peut être aussi considéré comme un élément particulière, dont les particules s'insèrent dans les espaces entre la matière et en provoquent l'agitation. Dans ce cas, il complète une autre théorie admise de l'époque à laquelle Lavoisier n'a pas les moyens de s'attaquer tant il la trouve compliquée : la théorie des affinités. Ainsi les affinités entre les espèces les rapprochent et le calorique les repousse, ce qui permet de comprendre les états d'équilibre, mais aussi les représentations (encore vagues) de la constitution des solides, des liquides et des gaz. Plus un composé contient de calorique, plus il se trouve dans un état dispersé (les gaz contiennent

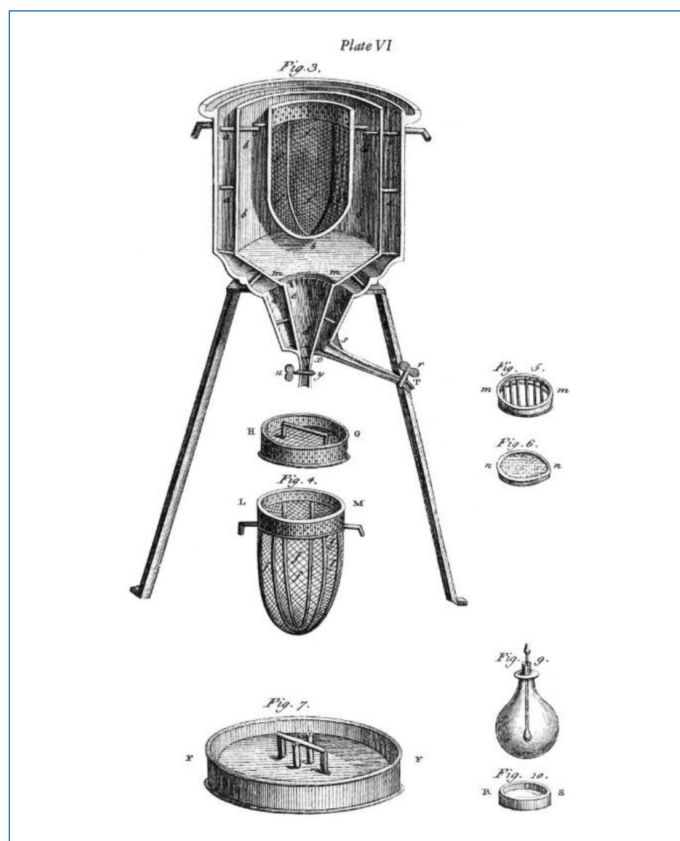


Figure 1 - Coupe transversale de la machine à glace décrite dans le *Mémoire sur la chaleur* de Lavoisier et Laplace en 1784; appareil renommé calorimètre dans sa description figurant dans le *Traité élémentaire de chimie* de 1789.

donc plus de calorique que les solides) : « *Les molécules de tous les corps de la nature étaient dans un état d'équilibre entre l'attraction, qui tend à les rapprocher et à les réunir, et les efforts du calorique, qui tend à les écarter. Ainsi, non seulement le calorique environne de toutes parts les corps, mais encore il remplit les intervalles que leurs molécules laissent entre* » [5].

Enfin, pour déterminer l'existence du calorique, Lavoisier reprend la description de la machine à glace du mémoire sur la chaleur et décrit à présent cette machine comme l'appareil capable de mesurer des quantités de calorique : elle devient le calorimètre (figure 1).

Une idée devenue centrale dans l'œuvre de Lavoisier

Le calorimètre, comme son nom l'indique, sert à mesurer des quantités de calorique. C'est un appareil à triple enveloppe avec grille et réservoir. Au centre, on place le corps ou la substance à étudier dont on veut évaluer les échanges et les dégagements de chaleur et autour, dans la seconde enveloppe, est placée une quantité strictement pesée de glace. Pour éviter que la glace de cette enveloppe ne fonde sous un autre effet que les dégagements de chaleur dus à la réaction qui a lieu dans la première enveloppe, on rajoute dans la troisième enveloppe de la glace qui permet d'éviter la fonte de la glace de la seconde enveloppe sous l'effet de la chaleur extérieure. On pèse ensuite la masse de glace fondante qui s'écoule sous l'appareil, cette masse représentant alors un équivalent de la quantité de calorique dégagé. L'appareil, finalement, sert à faire des mesures relatives de chaleurs massiques. Le calorique se retrouve être, tout comme le phlogistique, une substance insaisissable. Cette constatation permettra d'alimenter la controverse et de critiquer

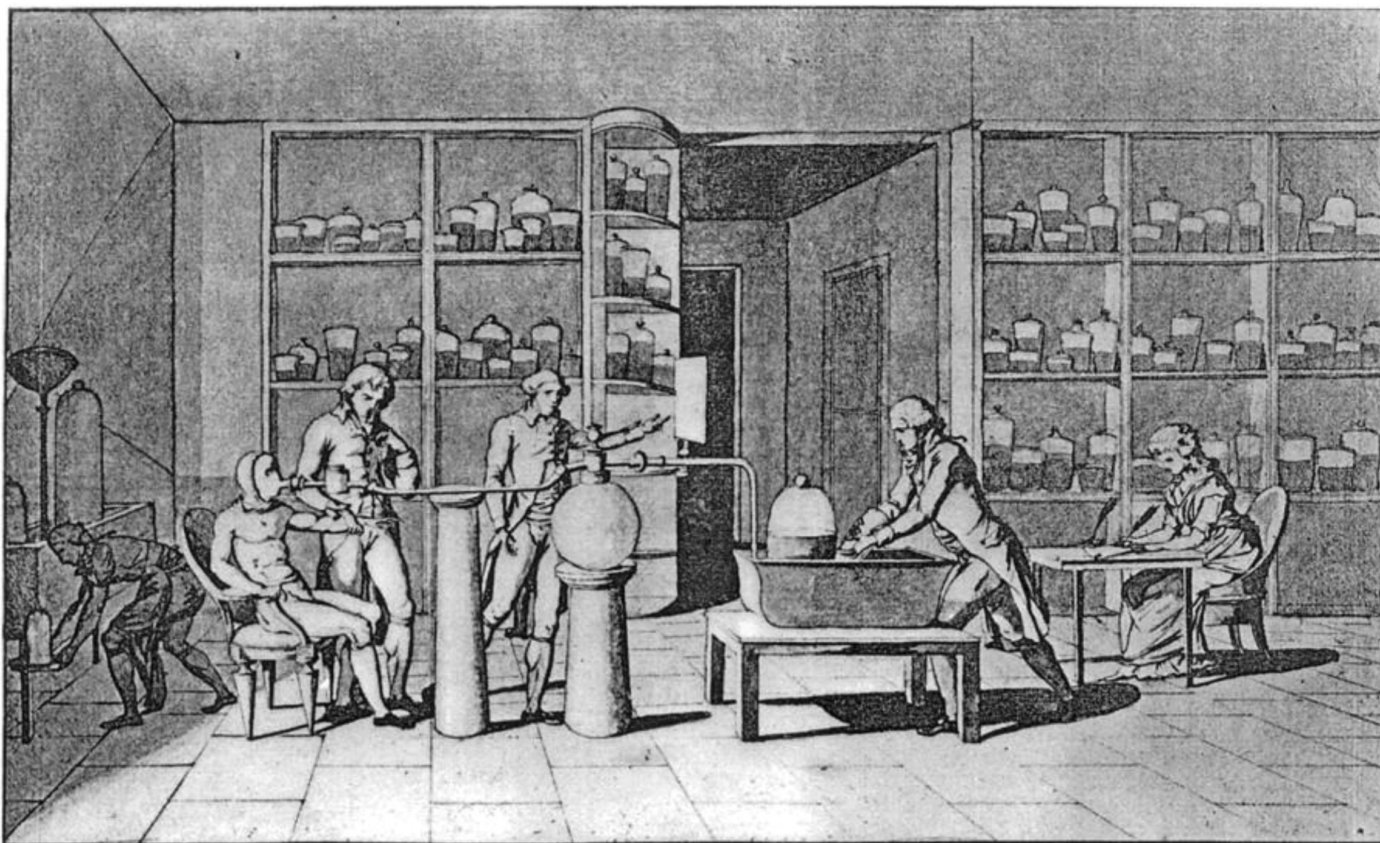


Figure 2 - Les expériences sur la respiration animale. À gauche, avec son masque, Seguin. Tout à droite, en tant que secrétaire, Madame Lavoisier note autant le protocole que les résultats de l'expérience. Au centre, main tendue, vraisemblablement Lavoisier dirigeant la séance dans une des salles du laboratoire du Petit Arsenal. © Wikicommons.

l'approche de Lavoisier : pour ses détracteurs, le calorique n'est-il pas juste une invention secondaire dans le système chimique développé par Lavoisier dont le but n'est autre que de le substituer au phlogistique pour réussir sa « révolution » ? En fait, il semble bien que la relation de Lavoisier au calorique soit plus profonde que cela [6]. En effet, fin 1792, alors qu'il entame un travail de révision de ses travaux, Lavoisier prépare à la fois une nouvelle organisation du *Traité élémentaire* et la réorganisation de ses mémoires de chimie. C'est d'ailleurs entre 1789 et 1793 qu'il collabore avec Armand Seguin (1767-1835) pour étudier de nouveau la chaleur au travers des fameuses expériences illustrées par Madame Lavoisier sur la respiration (figure 2). Lavoisier consacre au calorique les deux mémoires sur la respiration et la transpiration animale (écrits avec Seguin [7]), le mémoire sur la chaleur, supplément au mémoire de 1783 des travaux faits avec Laplace durant l'hiver 1783 à 1784, et trois mémoires sur les changements d'état et la dilatation des corps [8]. Mais ce travail dans son ensemble est interrompu par son incarcération le 28 novembre 1793 et son exécution le 8 mai 1794. C'est alors à Madame Lavoisier de poursuivre l'œuvre de son mari. Jouant le rôle d'exécutrice testamentaire, elle rassemble les mémoires de Lavoisier et de ses collaborateurs pour une nouvelle publication. En 1805, uniquement deux des huit ouvrages prévus initialement sont imprimés sous sa direction. Le premier livre est composé de quinze mémoires rassemblés sous le titre de *Vues générales sur le calorique* [9] (figure 3). Il montre à quel point le calorique était devenu central dans l'œuvre et les idées de Lavoisier. Le système de Lavoisier pose problème dans son ensemble. Il est de plus largement critiqué par les chimistes adeptes de Stahl qui ne peuvent que remarquer les similitudes entre le phlogistique et le calorique. Parmi les collaborateurs de Lavoisier, les convaincre prendra du temps. Guyton de

Morveau, par exemple, suit les idées de Lavoisier dès les années 1770 et opère lentement un glissement de l'ancien système (celui du phlogistique) au nouveau en transférant par exemple la propriété dissolvante du phlogistique au calorique [10]. D'autres sont plus déterminés à rester des opposants farouches au nouveau système. Joseph Priestley (1733-1804) oppose à la chimie de Lavoisier le double argument qu'elle est invérifiable et incontestable. Invérifiable car ses expériences sont trop compliquées, nécessitent un matériel de haute technicité et des sommes considérables pour pouvoir être reproduites. Incontestable ensuite, car comme plusieurs de ses collègues scientifiques, il soupçonne Lavoisier (et ses collègues influents et convertis à sa doctrine chimique) de jouer de son aura pour imposer ses vues, que ce soit à l'aide d'une propagande scientifique [11] élaborée autour de ses démonstrations scientifiques orientées pour justifier la validité de son système chimique [12], ou de par son influence scientifique, voire politique en France. Ainsi dans *Considérations sur la doctrine du phlogistique*, Priestley écrit dès la première page à tous les anciens collaborateurs de Lavoisier : « Vous serez d'accord avec moi, qu'aucun homme ne doit modifier son propre jugement sous le joug d'aucune autorité aussi respectable soit-elle. Si vous ne l'étiez pas [...], votre règne ressemblerait à celui de Robespierre [...], nous avons l'espoir que vous nous gagnerez par la persuasion et non par le silence et la force » [13].

Une présence manifeste dans l'enseignement scientifique français

Lavoisier est-il si influent que l'on puisse concevoir que ses travaux scientifiques ont bénéficié en France et en Europe de son aura pour s'imposer et lui créer des disciples appelés à faire carrière ? Si cela avait été le cas (comme le pensèrent



Figure 3 - La première page des *Mémoires de physique et de chimie* de Lavoisier, tome I, entièrement consacré au calorique, mis en forme, relu, organisé et édité par Madame Lavoisier, actrice scientifique incontournable dans la diffusion du travail du groupe Lavoisier (portrait extrait du tableau de David).

ses détracteurs), on aurait pu s'attendre après la disparition de Lavoisier à voir effectivement cette théorie disparaître avec lui, surtout si comme on le croyait, elle n'existait que par l'influence de ce « grand commis de l'État ». Or après la mort de Lavoisier, la théorie du calorique devient quasi omniprésente dans l'enseignement scientifique : elle est tout d'abord enseignée à l'École Normale de l'An III, pour la formation des professeurs qui officieront dans les Écoles Centrales (les écoles de l'enseignement secondaire de 1794 à 1803). Durant ces cours donnés à Paris entre janvier et avril 1795 dans l'amphithéâtre du Muséum, le calorique est au programme des leçons de physique faites par René-Just Haüy (1743-1822), de chimie de Claude-Louis Berthollet (1748-1822) et il se trouve aussi utilisé par Louis Daubenton (1716-1799) dans l'une de ses leçons d'histoire naturelle. Huit des quinze leçons de physique traitent ou utilisent la théorie du calorique et onze des treize leçons de chimie sont en rapport avec le calorique.

Le calorique se retrouve ensuite au programme des cours de physique et de chimie des lycées, de 1804 à 1815. On le retrouve dans les livres de physique et de chimie, écrits par des auteurs choisis afin de créer des ouvrages utiles à l'enseignement. C'est Haüy qui écrit le livre de physique, s'appuyant sur ses cours à l'École Normale et Pierre Auguste Adet (1763-1834), l'ancien rédacteur en chef des *Annales de Chimie*, qui se charge de la chimie. Dans son livre, il écrit dès le début : « *Le calorique [...] doit être regardé comme l'un des instruments les plus puissants de la chimie* » [14].

C'est vraisemblablement une idée qui reste portée par les physiciens et les chimistes liés à l'Académie des sciences et au travail de Lavoisier et Laplace. Dès 1795, avec le développement de l'École Polytechnique et son enseignement de physique et de chimie, le calorique y est enseigné.

Durant le Directoire, le Consulat et l'Empire, le calorique figure aux programmes de l'enseignement supérieur. En 1809, il est enseigné dans le cours de physique et le cours de chimie de la Faculté des sciences de Paris, faculté nouvellement créée à la suite de la réforme de l'Université. Présent à l'École

Polytechnique, il est utilisé à l'École des Mines. Il se trouve aussi dans le programme de l'École militaire spéciale de Saint-Cyr, et c'est également un sujet de dissertation au concours général des lycées en 1813, un sujet de thèse pour le grade de docteur en médecine en 1818 (F.-V. Perin, *Dissertation sur le calorique*) et pour le concours de l'agrégation en 1836 (P. Bories, *Des effets du calorique et de la lumière sur les corps vivants*). Une littérature scientifique du calorique fait d'ailleurs son apparition. Le calorique devient « latent », « spécifique », « rayonnant » [15].

Dans les journaux scientifiques spécialisés, le calorique devient plus qu'un sujet d'étude ; il devient une théorie utilisée et admise. Une étude des utilisations des mots/théorie du calorique, de la chaleur et du phlogistique entre 1789 et 1843 dans les *Annales de Chimie* montre l'intérêt grandissant (puis déclinant) pour l'usage du principe calorique (figure 4). Forcément en forte expansion du temps de Lavoisier, entre 1789 et 1794 (temps durant lequel s'établit et se développe la théorie), il est encore régulièrement présent et utilisé jusque dans les années 1840. On voit ainsi dans les *Annales de Chimie*, le calorique supplanter le phlogistique, même si celui-ci continue à être utilisé jusqu'en 1815 (dans cette revue). Aussi, il devient clair qu'en France, la théorie du calorique est plus qu'admise ; elle devient même l'incarnation scientifique de la chaleur. Il ne sera pas étonnant alors de voir dans des traductions françaises de Davy, de Joule ou de Mayer, le mot calorique remplacer les mots « heat » ou « wärme » : citons l'exemple des *Cours pour le bureau d'Agriculture* de Humphry Davy (1778-1829) en 1812 où la traduction de « ainsi la glace est convertie en eau par l'intermédiaire de la chaleur » est devenue : « une certaine dose de calorique liquéfie la glace ». La traduction est ici à la fois révélatrice du danger de son utilisation, mais elle montre aussi l'impact culturel et scientifique que possédait alors le calorique en France. Pour les auteurs, il ne s'agissait pas tant d'imposer le calorique que de suivre les idées alors utilisées en France où les mots chaleur et calorique n'étaient plus totalement synonymes. Ainsi le

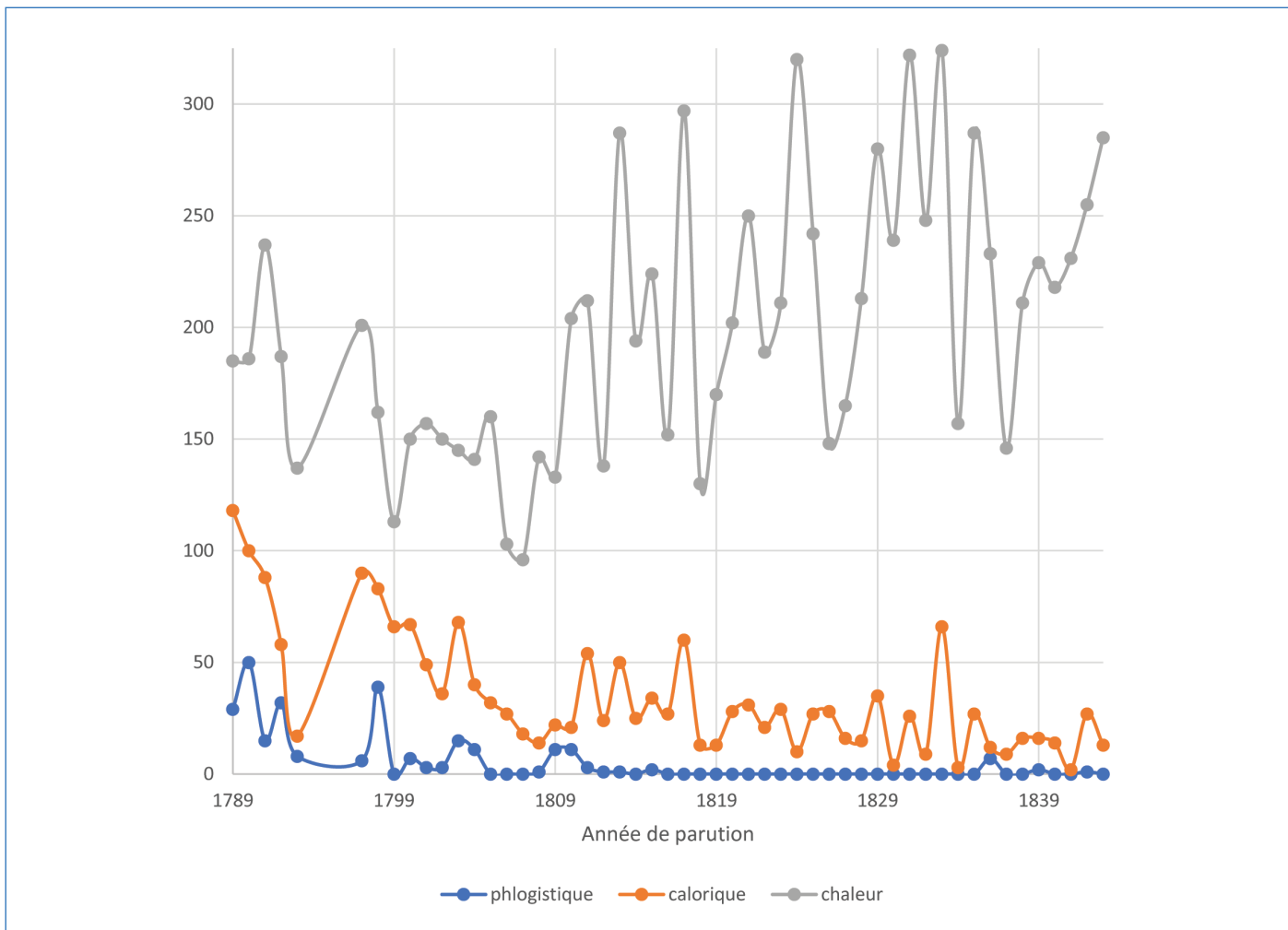


Figure 4 - Occurrences aux mots phlogistique, calorique et chaleur dans les publications des *Annales de chimie, Annales de chimie et de physique, troisième série*, entre 1789 et 1843. © Éric Jacques.

traducteur scientifique, lorsqu'il estime que le mot chaleur désigne l'entité physique et non l'effet sensitif, utilise le terme calorique.

Faut-il alors penser que le calorique ne fut qu'une théorie franco-française ? Il s'avère que non.

Une reconnaissance internationale... et après ?

« Pendant plus de quarante ans, la plupart des auteurs de traités de chimie [...], continueront de placer, au début de leurs ouvrages, un long chapitre traitant du calorique [...] » [16]. Il s'avère que cette théorie va effectivement rapidement déborder les contours de l'hexagone et s'exporter, être utilisée et enseignée par les grands noms de la chimie. On trouve ainsi le calorique utilisé par Klaproth, Berzelius, Mitscherlich, Liebig et Wöhler (et donc jusque dans les années 1860, voire encore au-delà), mais pas seulement. Le calorique est utilisé par Dalton pour décrire les atomes à l'état gazeux. On le retrouve chez Avogadro, Fresnel, Oersted [17]. Le calorique est aussi présent chez les précurseurs, voire ceux que l'on considère comme des fondateurs de la thermodynamique comme Carnot et Clapeyron. Ainsi dans ses *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, Sadi Carnot (1796-1832) utilise le fluide calorique. Dans toute l'Europe, chez les plus grands noms de la science de cette époque, au moins jusqu'en 1850, la théorie du calorique possède donc une ampleur internationale.

Faut-il en déduire après cette date que le calorique est alors sur le déclin ? Et devait-on d'ailleurs accorder de l'importance à une théorie aussi déroutante ? Imaginer la chaleur comme étant duale, à la fois fluide et particule, peut surprendre, voire être considéré comme totalement erroné, mais seulement si l'on regarde ces principes avec la culture du XXI^e siècle. Rappelons tout d'abord que du temps de Lavoisier (et après), les physiciens de l'Académie des sciences restent très influencés par Newton et l'idée d'une matière particulaire. Imaginer alors que le calorique soit constitué de particules (tout comme la lumière) n'est pas inconcevable en son temps. De la même manière, considérer la chaleur comme un fluide (avec toute la difficulté à garder la signification de ce terme selon les acceptions du XVIII^e siècle) est tout aussi cohérent, d'une part parce qu'il existe déjà des espèces matérielles que l'on a du mal à appréhender mais dont on peut observer, voire mesurer les effets (les fluides aéiformes encore appelés gaz), et d'autre part parce qu'il existe déjà une théorie du fluide électrique et une théorie du fluide magnétique. Y ajouter une théorie du fluide calorique semble alors dégager en l'état de la science de la fin du XVIII^e siècle une certaine cohérence. Ainsi, « l'hypothèse du calorique comme substance chimique impondérable s'inscrit dans le cadre de ce que l'historien John Heilbron appelle le modèle standard de la physique et de la chimie vers 1800 » [18]. Modèle standard, c'est reconnaître au calorique d'être en accord avec les concepts de la physique classique du début du XIX^e siècle. La reconnaissance internationale

du calorique vient de son utilité et de la validation de son usage tant que la majorité des résultats expérimentaux s'accorde avec la théorie et ses évolutions. Mais après 1850, progressivement, la situation commence à s'inverser. Parallèlement à cela, les développements de la thermochimie, qui s'intéresse aux mesures des chaleurs de réaction et des transformations, apportent de nouveaux résultats, de nouvelles questions. De plus, le mélange de chimie et de « mécanique » apporté par Joule, développé par Robert von Mayer (1814-1878), propose des liens nouveaux entre les concepts de travail et de chaleur qui interrogent [19].

C'est à cette époque que commence la période de gestation qui va transformer la perception que l'on a des phénomènes concernant la chaleur. À ce stade, le calorique a fait montre de son importance et de son utilité ; une théorie importante dans l'œuvre de Lavoisier et une théorie importante de l'histoire des sciences. Et à son tour, les questions que soulèvent la théorie du calorique face aux résultats expérimentaux, ses imperfections (comme avec le phlogistique), vont amener à changer de paradigme et à considérer la chaleur autrement. Il reste donc un rôle à jouer pour le calorique d'ici la fin du XIX^e siècle : aider à la construction d'une nouvelle théorie de la chaleur, quitte à disparaître lui-même.

La perception a posteriori de la théorie du calorique

Le calorique a montré son utilité : il a aidé à la conception et au développement de la thermodynamique et d'une théorie valable de la chaleur, ce qui en fait pour les historiens des sciences et les philosophes un sujet intéressant. Qu'en est-il des enseignants ? Comparativement au phlogistique et à la théorie thermodynamique de la chaleur, s'il fallait choisir dans le cadre d'un enseignement scientifique un concept à étudier par l'histoire des sciences, le choix se porterait-il sur le calorique ? Pour certains, le calorique est une théorie obsolète, inutile, à supprimer, voire à considérer comme un frein à l'évolution de la « vraie » théorie de la chaleur qu'il peut empêcher d'apprendre [20]. Comment expliquer que les avis soient aussi partagés ?

À l'aube du XX^e siècle, il n'est pas invraisemblable de dire que certains scientifiques et historiens des sciences ont voulu substituer la théorie du calorique au profit d'une théorie mécanique de la chaleur dont deux fervents partisans en France se sont révélés être Pierre Duhem et Henri Poincaré. Pour Duhem, la théorie du calorique s'inscrit dans une construction progressive de la thermodynamique [21]. Elle est donc naturellement intégrée à la progression des idées en science. Pour Poincaré, c'est Carnot le véritable génie qui, usant d'une théorie fautive, le calorique, aboutit à un résultat juste de la thermodynamique : « *L'introduction du premier principe [la conservation du calorique] devait nécessairement conduire Carnot à des résultats inexacts. Néanmoins leur importance historique est trop grande pour qu'il soit permis de les passer sous silence. D'ailleurs l'étude des premiers travaux de Carnot s'impose à un autre point de vue. C'est sur les débris d'une théorie inexacte, qui leur servait de base, qu'on a construit le second principe de la Thermodynamique : le principe de Carnot* ». Dans ce cours de thermodynamique, Poincaré fustige non seulement la conservation du calorique, source des erreurs de Carnot, mais aussi plus globalement la théorie en général comme frein au développement de la thermodynamique. De plus, Poincaré confirme : « *Quelques temps avant sa mort prématurée, Carnot possédait sur la chaleur des idées tout à fait*

conformes à nos idées actuelles. Il les consigna dans des notes manuscrites qui restèrent ignorées jusqu'en 1871 » [22]. Cette révélation est historiquement intéressante car elle empêche de détacher la science, ses découvertes, ses acceptations de l'influence de ses protagonistes. Elle peut expliquer en partie l'aura que possède aujourd'hui Carnot et l'image amoindrie que l'on peut avoir de la théorie du calorique. Elle va aussi montrer qu'une réécriture a posteriori d'une chronologie de la science est également inutile.

Tout d'abord, rappelons que tous les acteurs qui ont tenté de s'opposer à la théorie du calorique avant 1850 se sont retrouvés dans une situation bien inconfortable car il leur était impossible de valider leurs intuitions à l'aide d'une série d'expériences valides. Ils ont de plus généralement trouvé dans les membres les plus éminents de l'Académie des sciences de Paris des opposants très protecteurs envers les idées de Newton et les théories de l'électricité, du magnétisme, de la lumière et de la chaleur qu'ils avaient établies en adéquation avec ses idées. Ainsi Rumford signale ses doutes dès 1797. Mais Laplace et Berthollet s'opposent à ses propositions. Plus tard, c'est Fourier qui dès 1812 propose une version nouvelle d'une théorie phénoménologique de la chaleur en opposition avec le calorique. Il devra composer avec les oppositions de Laplace et de Poisson avant de publier sa *Théorie analytique de la chaleur* en 1822. En 1812, c'est aussi Davy qui reconnaît l'échec de ses tentatives pour s'opposer au calorique : le fluide élastique qu'on appelle calorique est probablement une idée erronée, mais l'imperfection des instruments de son temps empêche de valider cette hypothèse. Le calorique s'est donc maintenu, tout comme le phlogistique avant lui, à la fois par un manque de preuves acceptables sur le plan expérimental, mais aussi par une certaine volonté conservatrice des idées scientifiques philosophiquement et idéologiquement admises.

Au début du XX^e siècle, le calorique est en voie de disparition et son importance dans le développement de la théorie de la chaleur est minimisée. La contribution de Poincaré à une perception d'un calorique encombrant dans l'histoire des sciences peut être non négligeable quand on connaît l'aura de ce savant. Son intervention en faveur d'une réhabilitation de Carnot peut être une autre hypothèse. Il se peut d'ailleurs que cette réhabilitation se soit faite sous influence : c'est Hippolyte Carnot qui communique en 1878 à l'Académie des sciences des papiers de son frère en relevant lui-même dans ceux-ci qu'il est important de montrer que Carnot avait des doutes (jamais publiés cependant) sur la théorie du calorique [23]. L'influence ensuite de Gaston Bachelard qui, au début du XX^e siècle, indique que le calorique n'est même pas une hypothèse au sens scientifique du terme mais un terme aussi général que celui de la chaleur [24] ne pouvait que confirmer l'idée que le calorique devait être appelé à disparaître au profit d'une réécriture chronologique de la théorie de la thermodynamique dans laquelle le phlogistique et le calorique en viennent à jouer le rôle de précurseurs mal formulés d'une théorie de la chaleur. Le débat s'ouvre alors pour savoir à qui attribuer la priorité de la construction des principes de la thermodynamique : Carnot ? Clausius ? Mayer ? Joule ? Selon Truesdell, une interprétation a posteriori des croyances mène à faire de Mayer l'auteur de quelque chose appelée premier principe de la thermodynamique, alors que Mayer par ses travaux scientifiques ne semble pouvoir ni affirmer qu'il fut l'auteur du premier principe, ni qu'il excluait explicitement la théorie du calorique [25].

Une contribution majeure à la théorie moderne de la chaleur

Finalement, le calorique a bien joué un rôle déterminant durant la fin du XVIII^e siècle et une bonne partie du XIX^e siècle, comme théorie doublement utile : utile sur le plan scientifique, puisqu'il fut d'usage chez les physiiciens, les chimistes, les physiologistes ; utile sur le plan philosophique aussi, puisqu'il participe par ses imperfections à alimenter discussions, débat et constructions de nouvelle(s) théorie(s) de la chaleur. Ce débat s'est ouvert dès sa création, interrogeant la théorie du phlogistique et contribuant à en éprouver la validité. Il s'est ensuite prolongé avec les premières expériences qui décelèrent à leur tour les manques et les failles de la théorie du calorique. Il contribua à formuler et à décrire rigoureusement la théorie thermodynamique de la chaleur. Par la suite, les philosophes et les historiens se sont interrogés sur la place de cette théorie en son temps et a posteriori. Là encore, la perception et la place du calorique, dans les sciences au plan national ou international, avec la figure de Lavoisier, ont nourri de nouvelles discussions et controverses. Durant le XX^e siècle, elle participa encore à des discussions entre philosophes et historiens des sciences. L'étude historique de la théorie du calorique est toutefois des plus enrichissantes. Elle montre que sa conception, son développement et sa disparition s'articulent autour d'axes scientifiques mais aussi philosophiques et idéologiques. Elle montre ainsi qu'elle est un exemple d'étude autant pour les historiens, les philosophes que les scientifiques. Plus encore, d'une importance non négligeable, elle peut donc se ranger parmi les modèles historiques remarquables et dignes de l'intérêt des enseignants (aux côtés d'autres modèles imparfaits comme ceux de l'atome, de la classification des éléments, de la lumière, ou encore des lois des gaz parfaits). Car il s'avère que cette théorie peut être un formidable exemple d'usage de l'histoire des sciences au service de l'enseignement scientifique, puisqu'elle fut d'emblée ce que l'on pourrait considérer aujourd'hui comme parfaitement imparfaite.

[1] A. Fourcroy, *Système des connaissances chimiques, t. I*, Baudoin, Paris, **1800-1801**, p. 23 (Gallica).

[2] A.-L. Lavoisier, *Considérations générales sur la dissolution des métaux dans les acides, Histoire de l'Académie royale des sciences avec les mémoires, 1782*, Impr. roy., Paris, **1785**, mém. p. 493 (Gallica).

[3] A.-L. Lavoisier, P.-S. Laplace, *Mémoire sur la chaleur, Histoire de l'Académie royale des sciences avec les mémoires, 1780*, Impr. roy., Paris, **1784**, mém. p. 355-409 (Gallica).

[4] L.-B. Guyton de Morveau, A.-L. Lavoisier, C.-L. Berthollet, A. Fourcroy, *Méthode de nomenclature chimique*, Cuchet, Paris, **1787**, p. 31 (Gallica).

[5] A.-L. Lavoisier, *Traité élémentaire de chimie*, Cuchet, Paris, **1789**, p. 17-18 (Gallica).

[6] B. Bensaude-Vincent, *Lavoisier : mémoires d'une révolution*, Flammarion, **1998**, p. 217-219.

[7] A.-L. Lavoisier, *Œuvres de Lavoisier, t. II*, Impr. imp., Paris, **1862**, p. 688 et 704 (Gallica).

[8] A.-L. Lavoisier, *Œuvres de Lavoisier, t. II*, Impr. imp., Paris, **1862**, p. 724-783 (Gallica).

[9] A.-L. Lavoisier, *Mémoires de Chimie, t. I*, Marie-Anne Lavoisier (éd.), **1805**, (Gallica).

[10] R.C. Mocolin, *Louis-Bernard Guyton de Morveau (1737-1816) : chimiste et professeur au siècle des lumières*, Thèse de doctorat, Université Paris Ouest, **2009**, p. 271-281.

[11] T. Sukopp, *Discoveries of oxygen and the « Chemical revolution »*, in *Knowledge, Communities in Europe: Exchange, Integration and its Limits*, B. Schweitzer, T. Sukopp (eds), Springer, **2018**, p. 15-48.

[12] J. Golinski, *The coming of the chemical revolution, in Science as public culture, chemistry and enlightenment in Britain, 1760-1820*, Cambridge University Press, **1992**, p. 129-152.

[13] J. Priestley, *Considerations on the doctrine of phlogiston and the decomposition of water*, Londres, **1796**, p. i (trad. personnelle).

[14] P.A. Adet, *Leçons élémentaires de chimie, à l'usage des lycées*, Dentu, Paris, **1804**, p. 15 (Google).

[15] J.-M. Soquet, *Essai sur le calorique, 1801* ; P. Prevost, *Du calorique rayonnant, 1809* ; C.-E. Julien, *Traité élémentaire du calorique latent, 1853*. Pour de plus amples références bibliographiques, voir E. Jacques, *La théorie du calorique dans l'œuvre de Lavoisier (1743-1794) : un modèle historique utile pour l'enseignement des sciences*, Mémoire de recherche, Nancy, Université de Lorraine, **2021**.

[16] L. Medard, H. Tachoire, *Histoire de la thermochimie*, Presses universitaires de Provence, **1994**, p. 33.

[17] A. Avogadro, *Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons, Journal de physique, de chimie et d'histoire naturelle et des arts, t. LXXIII*, Courcier, Paris, **1811**, p. 58-76 ; A. Fresnel, *Premier mémoire sur la diffraction de la lumière, Œuvres complètes d'Augustin Fresnel : théorie de la lumière, tome premier*, Imp. imp., Paris, **1866**, p. 9-33 (Google Books) ; H.-C. Oersted, *Expériences sur l'effet du conflit électrique sur l'aiguille aimantée, Annales de chimie et de physique, tome 14^e*, Crochard, Paris, **1820**, p. 417-425 (Gallica).

[18] B. Bensaude-Vincent, *Le calorique, in L'École Normale de l'An III. Leçons de physique, de chimie, d'histoire naturelle*, E. Guyon (dir.), ENS Ulm, Paris, **2006**, p. 586-592.

[19] A. Dumon, *La prévision de l'acte chimique, L'Act. Chim.*, **2020**, 452, p. 35-37.

[20] M. Bruneaux, *La thermodynamique, une science à reformuler, Langue française*, **1984**, 64, p. 81-82.

[21] P. Duhem, *Introduction à la mécanique chimique*, Librairie Générale de A.D. Hoste, Gand, **1893**, p. 14 et 175.

[22] H. Poincaré, *Cours de physique mathématique, thermodynamique*, Gauthier-Villars, Paris, **1908**, p. 54.

[23] Lettre de M. Hippolyte Carnot, *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, t 87*, Gauthier-Villars, Paris, **1878**, p. 967-969 (Gallica).

[24] G. Bachelard, *Étude sur l'évolution d'un problème de physique. La propagation thermique dans les solides*, Vrin, Paris, **1973**, p. 40.

[25] C. Truesdell, *The Tragicomical History of Thermodynamics: 1822-1854*, Springer-Verlag, New York, **1980**.

Éric JACQUES,

Vice-président du groupe SCF Histoire de la chimie, professeur de chimie en BTS, Lycée Louis-Vincent, Metz, doctorant en histoire des sciences, Archives Henri Poincaré, Université de Lorraine, Nancy, Études sur les sciences et les techniques, Université Paris-Saclay, Orsay.

* Eric.Jacques@ac-nancy-metz.fr



Toute l'actualité de la
Société Chimique de France

et bien plus...

societechimiquedefrance.fr