

Le calorique : un modèle historique utile à l'enseignement scientifique

(première partie)

Résumé La théorie calorique a été reconnue par les historiens des sciences comme une théorie importante du XIX^e siècle. Mais cette théorie peut-elle être utile aux enseignants ? Cet article montre comment le calorique peut être un outil utile pour l'apprentissage des sciences au collège, au lycée et au-delà.

Mots-clés Lavoisier, Laplace, calorique, histoire des sciences, épistémologie, enseignement scientifique.

Abstract **Caloric: a historical model useful for science education**

The caloric theory has been recognized by historians of science as an important theory of the 19th century. But can this theory be useful to teachers? This article shows how caloric can be a useful tool for science learning from middle school through high school and beyond.

Keywords Lavoisier, Laplace, caloric, history of science, epistemology, science teaching.

L'approche des sciences dans l'enseignement scientifique

Du collège au lycée, les sciences se construisent sur des savoirs et des compétences qui proviennent soit de la démarche d'investigation (au collège), soit de l'expérience et de la modélisation (au lycée). Ces démarches contribuent à la construction du savoir scientifique de l'élève : « *Le savoir scientifique résulte d'une longue construction collective jalonnée d'échanges d'arguments, de controverses parfois vives. C'est lentement qu'une certitude raisonnable s'installe et se précise, au gré de la prise en compte de faits nouveaux, souvent en lien avec les progrès techniques. Ce long travail intellectuel met en jeu l'énoncé d'hypothèses dont on tire des conséquences selon un processus logique* » [1].

Dans cette tâche, l'enseignant est appelé à « *retracer le cheminement effectif de sa construction [celle du savoir] au cours de l'histoire des sciences [...]* » tout en rappelant « *le rôle prépondérant joué parfois par tel ou tel chercheur [...]* » et « *l'occasion de montrer que l'histoire du savoir scientifique est une aventure humaine. Des controverses, parfois dramatiques, agitent la communauté scientifique. Ainsi, peu à peu, le savoir progresse et se précise* » [1]. C'est donc aux professeurs, lorsque les programmes ne l'évoquent pas directement, de choisir les acteurs scientifiques qu'ils souhaitent mettre en lumière et les démarches mises en place par ceux-ci pour faire avancer la science.

Les travaux et les recherches de Lavoisier sur la combustion en général et le développement de la théorie du calorique en particulier sont suffisamment riches pour permettre à l'enseignant de les utiliser pour illustrer de nombreux points des programmes de physique et de chimie du lycée et du collège (voir encadré 1). En particulier, le calorique (qui découle de la théorie de la chaleur de Lavoisier et Laplace) est un concept scientifique suffisamment remarquable de l'histoire des sciences pour être une théorie digne d'intérêt pour les enseignants [2] et utile de différentes manières à l'utilisation de l'histoire des sciences dans leur enseignement. C'est ce que propose cet article dans sa première et sa deuxième partie.

Encadré 1

Un exemple d'usage de l'histoire des sciences au collège avec Lavoisier

Voici une proposition pour un exercice de fin de chapitre à faire à la maison. L'histoire des sciences intervient à la fois pour le côté anecdotique, l'évolution des idées en chimie, et enfin pour que l'élève puisse évaluer s'il a bien compris et assimilé les notions et définitions du cours. Mais on constatera qu'à l'aide des pistes développées dans cet article, il est possible de concevoir des exercices similaires sur la chaleur, la lumière, l'énergie, etc.

Le mystère de la disparition des diamants (Lavoisier, 1772)

En étudiant le chauffage des diamants dans l'air dans un vase fermé, alors que l'on pensait que le diamant, au contact de la chaleur et de l'air se *transmutait* en air (on dirait aujourd'hui en gaz), Lavoisier montra qu'en fait il s'agissait d'une réaction de combustion, le carbone du diamant réagissant avec le dioxygène de l'air.

Questions :

1. Quel est le nom de la transformation d'un corps pur du solide au gaz ?
2. Quel est le nom de la réaction chimique d'un composé s'associant avec l'oxygène ?
3. À l'aide du document n° 1, identifier l'équation qui correspond à la transformation chimique de la question 1 et celle qui correspond à la question 2.
4. À l'aide des questions 1 à 3, donner une définition de la combustion dans l'air.
5. Confirmer à l'aide des questions précédentes en rédigeant une réponse argumentée que les observations de Lavoisier sont justes quand il écrit à propos de la transformation des diamants : « *Ce phénomène ne doit point s'attribuer à une véritable volatilisation comme on le pensait ; mais plutôt à une espèce de combustion* ».

Document n° 1 : Réactiothèque

Équation n° 1 : $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$

Équation n° 2 : $C(s) \rightarrow C(g)$

Équation n° 3 : $S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$

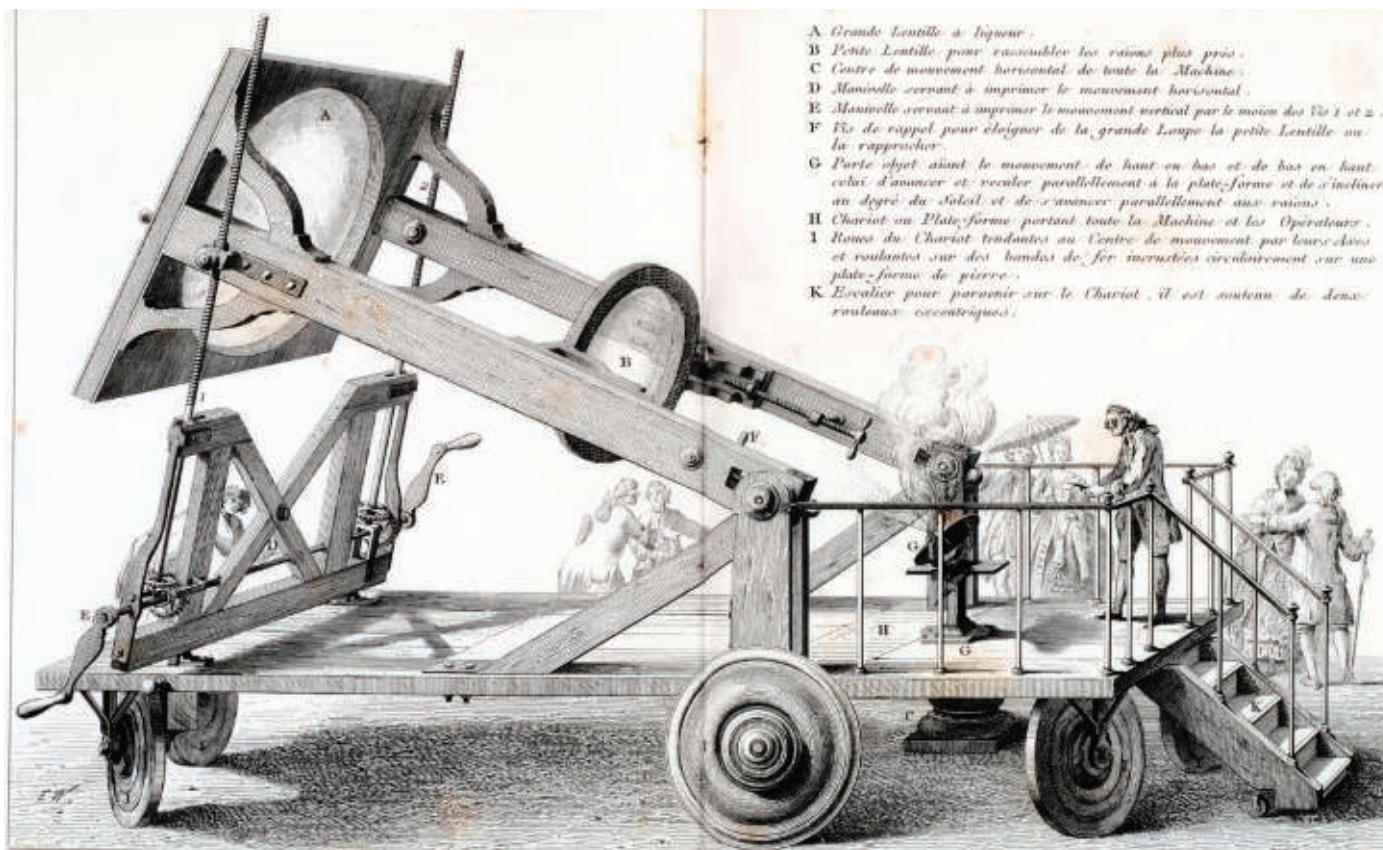


Figure 1 - Le char à cinq roues avec double lentille. Conçu pour être manipulé seul, il permet de faire chauffer tout corps jusqu'à de très hautes températures. Lavoisier consacre une partie de son *Traité élémentaire de chimie* aux systèmes de chauffage et à leur importance (Planche XIII). © Wikicommons.

Combustion, chaleur et lumière au collège : Lavoisier entre en scène

Le programme de chimie de collège possède bien des points communs avec le programme de recherche établi par Lavoisier pour élucider le mystère de la combustion : « Proposer un protocole expérimental pour étudier les propriétés d'un changement d'état, connaître la composition de l'air, distinguer transformation chimique et mélange, avoir étudié la conservation de la masse lors d'une transformation chimique, les combustions ».

Toutes ces compétences et activités peuvent être illustrées à l'aide des propres expériences et investigations qu'a pu faire Lavoisier et ce, dès le début de sa carrière à l'Académie des sciences à partir de 1769 [3]. C'est donc un vaste panorama historico-scientifique qui peut servir de toile de fond au programme de collège avec cette approche assez spectaculaire d'étudier la coûteuse et mystérieuse expérience de la disparition des diamants pour laquelle on ignore s'il s'agit, au sens moderne des termes à l'époque, d'une combustion ou d'une volatilisation (la théorie alchimique des éléments qui a encore cours à Paris propose par exemple de voir le diamant comme transmuté de l'état de terre à l'état d'air).

En 1772, c'est Jean Darcet (1724-1801), futur professeur de chimie au Collège de France à partir de 1774, qui le premier propose des résultats sur la tenue des diamants au feu, et donc sur leur combustion [4]. Le programme initial de Darcet s'intéresse il est vrai aux forts chauffages pour la fabrication de la porcelaine, mais dans l'étude systématique qui est faite de toutes les matières combustibles, les diamants se retrouvent à être eux aussi passés soit sous de fortes chaleurs tirées du feu, soit exposés à des faisceaux concentrés de lumière obtenus

par des lentilles. Darcet initie une vague d'expériences qui se font chez les académiciens les plus distingués, expériences auxquelles assiste Lavoisier avant d'y prendre part lui-même. Ainsi, après une démonstration chez Pierre-Joseph Macquer (1718-1784), Lavoisier assiste à une transformation chez Hilaire-Marin Rouelle (1718-1779). Pour les expériences de Macquer et Rouelle, les diamants sont chauffés à l'air libre avec des fourneaux de puissances différentes. Et le résultat est assez surprenant pour les intéresser car dans ces cas-là, les diamants disparaissent totalement [5].

L'Académie, très intéressée, dépêcha différentes missions. Lavoisier, Darcet et Macquer sont du coup à pied d'œuvre et l'expérience de la distillation des diamants qui se fait en vase clos chez Louis-Claude Cadet de Gassicourt (1731-1799) met cette fois Lavoisier à la paillasse. Il fait d'ailleurs plus que manipuler puisqu'il finance également les expériences en ayant acheté le diamant qui fut brûlé. Encore une fois, les diamants sont mis à feu nu. Darcet et Macquer, en élaborant leurs propres expériences, avaient travaillé avec des récipients en porcelaine et non en verre, mais pour l'expérience de Lavoisier, c'est bien à la cornue que l'on travaille. Les deux programmes d'étude de la combustion, au feu d'une part, à la lumière concentrée d'autre part, vont se développer parallèlement.

À l'Académie des sciences, les autorisations sont obtenues pour utiliser le jardin de l'Infante, situé entre le Louvre et les quais, avec l'assentiment du gouverneur du Louvre. On y monte un hangar où est disposé un grand char à cinq roues surmonté d'une double lentille qui va servir pour la combustion aux rayons du soleil (figure 1). Sur le char, la lentille financée par la famille Trudaine de Montigny est finalement montée en octobre 1774. Elle permet aux académiciens de

réaliser plus de deux cents expériences sur la combustion [6]. Dans un vase clos au travers duquel les rayons du soleil du mois d'octobre 1774 sont concentrés, tous les corps fusibles ou non, réfractaires ou non, sont mis à l'épreuve. Les diamants ainsi calcinés, en atmosphère fermée, ne disparaissent pas totalement. Leur structure est alors analysée au microscope pour comprendre ce qui se passe. Cette période de gestation dans les idées de Lavoisier est digne d'intérêt car elle semble bien préfigurer une grande partie de son travail de recherche ultérieur. Le 29 avril 1772, il rend compte devant l'Académie : « *Ce phénomène ne doit point s'attribuer à une véritable volatilisation comme on le pensait ; mais plutôt à une espèce de combustion* » [7].

De son côté, Lavoisier seul, alors installé à partir de 1771 dans sa maison de la rue Neuve-des-Bons-Enfants où il établit un laboratoire, va poursuivre ses propres expériences sur la combustion. Il publie plus d'une centaine de ses résultats dans son ouvrage rédigé durant l'année 1773, *Opuscules Physiques et Chimiques*, sorti l'année suivante. Dès cet ouvrage, il est possible de constater que Lavoisier s'intéresse autant à cerner la véritable nature de l'air fixe de Joseph Black (1728-1799) (est-ce l'air qui est responsable de la combustion ou produit par celle-ci ?) qu'à comprendre ce qui s'associe dans l'air à un corps combustible durant la combustion ou la calcination pour expliquer les variations de masse qu'il observe. Il n'est d'ailleurs pas nécessaire pour l'enseignant de se plonger au cœur du travail de Lavoisier pour le comprendre ou le faire diffuser à ses élèves. La simple lecture des titres des mémoires donnés par Lavoisier à cette époque à l'Académie des sciences fait état de ses découvertes ou de ses hypothèses [8].

En classe de troisième : transfert, conservation et formes d'énergie ; chaleur et calorique

En classe de troisième, les élèves sont amenés à étudier la lumière, l'énergie, la transformation d'une forme d'énergie en une autre et la conservation de cette énergie. C'est bien ce que firent Lavoisier et Laplace en étudiant spécifiquement la chaleur au début des années 1780 dont les résultats furent publiés dans les *Mémoires* de l'Académie royale des sciences en 1784. Si la première partie du mémoire tente de décrire la nature véritable des phénomènes de chaleur résultant soit du transfert d'un fluide, soit de l'agitation cinétique de molécules, la quatrième partie montre au final les intentions de Lavoisier et de Laplace, c'est-à-dire pouvoir disposer d'une théorie, d'un appareil de mesure et d'expériences qui vont leur permettre d'élucider la véritable nature des réactions de combustion et l'interprétation de la production de lumière et de dégagement de chaleur au cours de celles-ci. Il est tout à fait possible de montrer que les analyses de Lavoisier et de Laplace sont en accord avec les notions du programme.

Sur la nature de la chaleur, comme cela a déjà été évoqué, Lavoisier et Laplace restent fidèles aux idées des savants⁽¹⁾ de leur époque. Sur ses propriétés, ils sont en mesure d'en cerner les capacités et les limites : la chaleur possède en effet la propriété de se transmettre d'un corps à un autre, mais son observation reste difficile surtout si le système chimique étudié risque d'être sensible à ses effets : « *La connaissance des lois que suit la chaleur, lorsqu'elle se répand dans les corps, est loin de cet état de perfection nécessaire pour soumettre à l'analyse les problèmes relatifs à la communication et aux effets de la chaleur, dans un système de corps inégalement échauffés, surtout quand leur mélange les décompose et forme de nouvelles*

combinaisons » [9]. Pour Lavoisier et les savants donc, déjà, la chaleur se transmet.

Il est clair aussi qu'un changement d'état n'est pas compris comme étant identique à une transformation chimique. Le choix des composés chimiques à étudier doit être « univoque », c'est-à-dire permettre de n'être soumis qu'à un seul effet remarquable qui ne produit qu'une seule transformation (changement d'état ou réaction chimique).

Dans les deux cas, la chaleur peut aussi être considérée comme les manifestations d'une énergie cinétique que l'on qualifie à l'époque de « force vive ». Ces « forces vives », dans l'idée des savants ou des philosophes, se conservent déjà également dans certaines transformations : « *Nous ferons observer que, dans tous les mouvements dans lesquels il n'y a point de changement brusque, il existe une loi générale que les géomètres ont désignée sous le nom de principe de la conservation des forces vives [...]. Dans l'hypothèse que nous examinons, la chaleur est la force vive qui résulte des mouvements insensibles des molécules d'un corps ; elle est la somme des produits de la masse de chaque molécule par le carré de sa vitesse* » [9].

L'idée de transfert et de conservation de la chaleur est donc présente. Cependant, Lavoisier veut plus que des observations qualitatives. Il lui faut réussir à modéliser et calculer. Au final au collège, en utilisant les travaux de Lavoisier et Laplace, l'enseignant aura non seulement à sa disposition plusieurs illustrations du concept de chaleur capables de l'aider à faire cerner l'idée de conservation, de transfert, d'échange, mais aussi des descriptions imparfaites en mesure de susciter le questionnement et l'idée que ces notions décrites au collège demanderont encore à être approfondies au lycée.

En classe de seconde : modélisation et mathématisation

En seconde, il est demandé de « *suivre l'évolution d'une température pour déterminer le caractère endothermique ou exothermique d'une transformation chimique et étudier l'influence de la masse du réactif limitant.* » Mais plus encore, il s'agit de « *faire pratiquer les méthodes et démarches de ces deux sciences [physique et chimie] en mettant particulièrement en avant la pratique expérimentale et l'activité de modélisation* » [10]. Il est ainsi possible de se servir des travaux de Lavoisier et Laplace pour illustrer cette démarche auprès des élèves comme ils l'expliquent : « *Dans l'ignorance où nous sommes sur la nature de la chaleur, il ne nous reste qu'à bien observer ses effets, dont les principaux consistent à dilater les corps, à les rendre fluides, et à les convertir en vapeurs. Parmi ses effets, il faut en choisir un, facile à mesurer, et qui soit proportionnel à sa cause, cet effet représentera la chaleur* » [9].

La démarche d'investigation est à l'œuvre chez les deux académiciens. Pour d'ailleurs développer avec encore plus d'acuité l'idée d'une démarche telle qu'elle a été théorisée et modélisée au début des années 1990 dans l'enseignement scientifique [11], rappelons que Lavoisier et Laplace déploient leurs expériences en s'appuyant sur les recherches de leurs prédécesseurs, Joseph Black et Adair Crawford (1748-1795), qui ont notamment développé leur propre calorimètre pour effectuer des mesures de chaleur [12] (figure 2). Ils poursuivent de plus une idée importante qui est que la chaleur cédée par un corps doit être acquise par l'autre, c'est-à-dire que le transfert de chaleur est conservatif. Pour le prouver, il faut le calculer : « *Quelle que soit la cause qui produit la sensation de la*

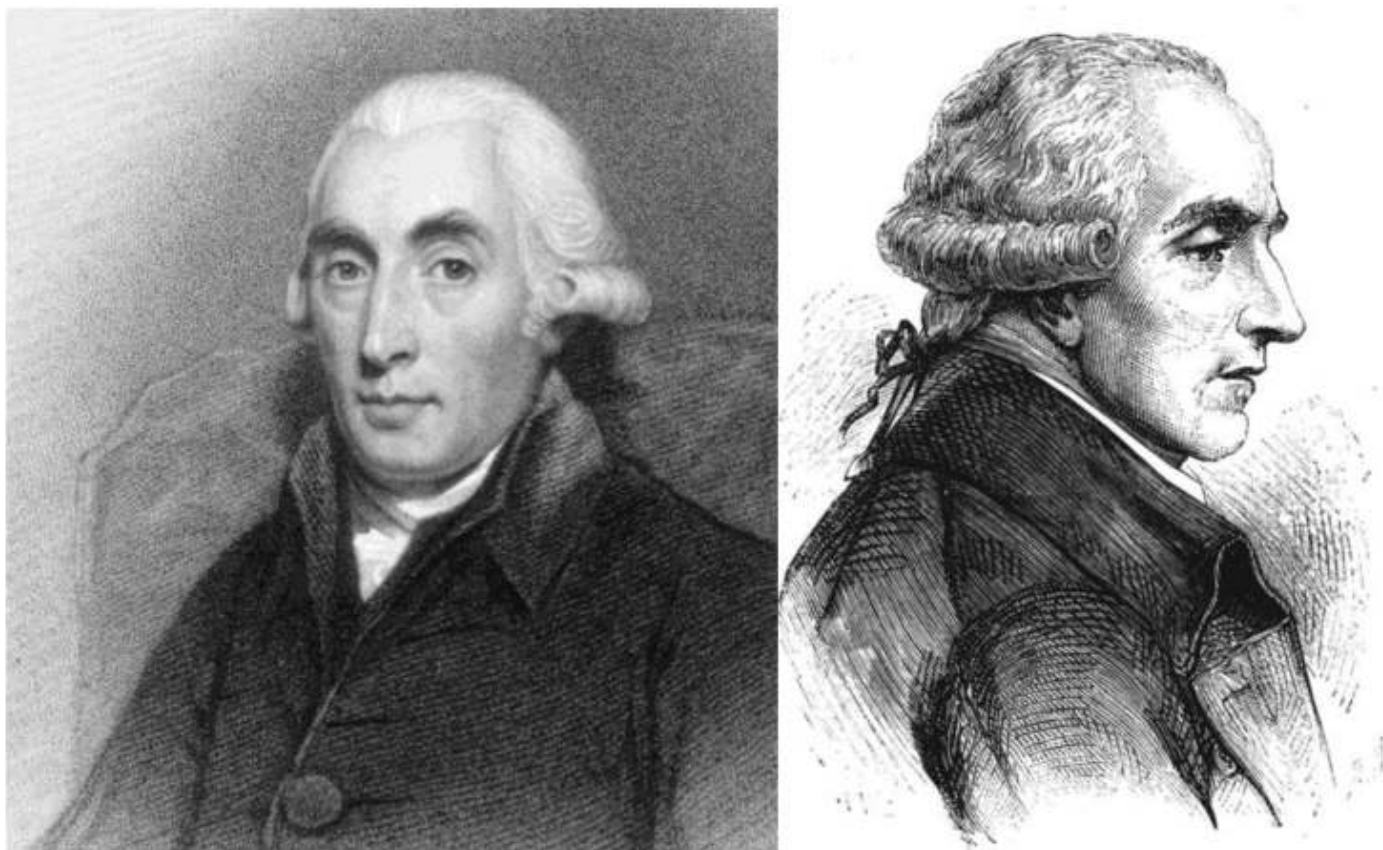


Figure 2 - Joseph Black (1728-1799) et Pierre-Simon Laplace (1749-1827). Black est considéré comme l'un des précurseurs des études calorimétriques même s'il publie tardivement ses travaux. Laplace, tout d'abord réticent à collaborer avec Lavoisier, aide celui-ci à mettre au point une théorie de la chaleur qui sera utilisée et défendue à l'Académie des sciences jusqu'en 1815, date à laquelle l'influence de Laplace commence à décroître. © Wikicommons.

chaleur, elle est susceptible d'accroissement et de diminution, et, sous ce point de vue, elle peut être soumise au calcul » [9].

La démarche scientifique employée est ainsi clairement expliquée : les deux savants posent des hypothèses, réalisent des expériences qu'ils soumettent à la mesure et au calcul. Les calculs doivent leur permettre de valider à la fois leur mise en équation et leurs hypothèses [13]. Ainsi, que ce soit pour des mélanges de corps purs, inertes chimiquement mais en mesure d'échanger une quantité de chaleur ou des réactifs, la mesure de la variation de température d'une part et des quantités introduites d'autre part pourront être reliées mathématiquement entre elles par l'intermédiaire de ce qu'il est question ici de mesurer, à savoir les échanges de quantité de chaleur (en 1784) ou de calorique (en 1789).

Donc si l'on appelle Q la quantité de chaleur et ΔT la variation de température, il devient possible d'écrire un modèle mathématique pour les échanges de chaleur sous la forme : $Q = k \times \Delta T$. Sans vouloir réécrire la relation de la thermochimie à l'époque de Lavoisier (ce qui serait un grave anachronisme), on peut cependant, en étudiant le texte de Lavoisier du point de vue du XXI^e siècle, rapprocher cette écriture et ce modèle d'autres modèles historiques qui se sont construits au fil des époques et qui ont été améliorés au cours du temps. De par sa situation entre la physique et la chimie, entre la chaleur et la lumière, comme nous allons le voir, la théorie du calorique a un rôle à jouer dans l'évocation des modèles imparfaits qui se devraient de faire partie de la culture scientifique des élèves. Il y a d'ailleurs ici moyen d'encourager les élèves à choisir les paramètres qu'ils souhaitent vouloir mettre en relation au cours de leurs expériences, puis à proposer leur modèle mathématique qu'ils pourront ensuite soumettre au calcul.

Au-delà d'étudier la chaleur, il sera possible de leur montrer que cette pratique est significative du travail de plusieurs grands noms de la science qui ont permis par la répétition et la modélisation d'aboutir soit à la détermination d'une loi, soit à la détermination d'une constante fondamentale : la détermination du nombre d'Avogadro, la détermination de la masse d'un électron ou encore l'élaboration de la loi de Joule entre courant et résistance électrique en sont quelques exemples historiques remarquables [14] (voir encadré 2).

Enfin, rappeler que ces formules sont soumises à des conditions d'utilisation, et qu'il est normal de voir apparaître des divergences entre le calcul théorique et la pratique, permettra de souligner le lien entre mesure, théorie, expérience et usage des instruments. Ce lien est d'ailleurs celui d'un fil rouge qui traverse tout le lycée de la seconde à la terminale au travers de l'enseignement de métrologie et des incertitudes.

Mise en valeur de l'erreur et de l'imperfection en science par les modèles

Dans la progression de la transformation des idées, c'est ici qu'intervient la naissance même de la théorie du calorique. Dans le travail et les développements de Lavoisier, à partir de 1787, la chaleur devient un nom qui représente une manifestation physique d'un phénomène de transfert d'un fluide ou d'une matière appelée calorique. Les interrogations que posent Lavoisier et Laplace et que l'enseignant sera en mesure de poser à ses élèves sont : qu'est-ce que la chaleur ? La chaleur se dégage-t-elle ? Se transmet-elle ? Se conserve-t-elle ? Dans l'approche corpusculaire qui fut celle de Lavoisier à partir de 1789, la chaleur est la sensation physique dont sont

Encadré 2

Modélisation expérimentale de la loi de Joule

Dans son article de 1841, *On The heat evolved by metallic conductors of electricity and in the cells of a battery during electrolysis* (Phil. Mag., 1841, XIX (124), p. 260-264), James Joule (1818-1889) utilise ses résultats expérimentaux pour déterminer un modèle mathématique qui relie la quantité de chaleur produite et l'intensité du courant : « *Nous voyons ainsi que quand un courant d'électricité voltaïque se propage le long d'un conducteur métallique, la chaleur dégagée en un temps donné est proportionnelle à la résistance du conducteur multipliée par le carré de l'intensité du courant électrique* ».

Le dispositif de Joule est décrit de la manière suivante : il utilise un galvanomètre dont il peut déterminer l'intensité du courant dans une échelle issue des travaux de Faraday sur l'électrolyse. Par une série d'expériences, Joule trouve que la déviation de l'aiguille de son galvanomètre dévie de 33°5 pour que son montage décompose neuf grains d'eau à l'heure. Il s'attèle ensuite à trouver un dispositif qui lui permet de relier la quantité de courant dans un fil de cuivre à la quantité d'eau solide qu'il est en mesure de faire fondre par la circulation d'un courant dans ce fil. Dans une troisième étape, Joule compare différentes natures de fil de même épaisseur, l'un en fer, l'autre en cuivre, et détermine leur résistance en faisant circuler dans chaque fil la même quantité de courant. Ce qui l'amène à conclure : « *Quand une quantité d'électricité voltaïque est passée au travers d'un conducteur métallique durant un temps donné, la quantité de chaleur dégagée est toujours proportionnelle à la résistance que présente le conducteur, quelle que soit la longueur, épaisseur, forme ou nature du conducteur métallique* ».

D'après ce qui précède, il est donc possible d'établir une formule (au moins) qui a pour expression $Q = k \times I^2$ reliant la quantité de chaleur dégagée à l'intensité du courant mesurée, pour une demi-heure de manipulation. En utilisant le tableau de Joule (colonnes 1 et 2), il est alors possible de calculer le ratio entre la quantité de chaleur et le carré de la quantité de courant électrique (colonne 3) et de « confirmer » son hypothèse :

Quantité de courant électrique exprimée en degré de chaleur Q (que l'on notera I)	Quantité de chaleur dégagée produite en une demi-heure (que l'on notera Q)	Ratio $k = \frac{Q}{I^2}$
0,92 Q	3	3,54
2,35 Q	19,4	3,52
2,61 Q	23	3,38
2,73 Q	25	3,35

responsables les échanges de calorique ; celle-ci étant représentée par un fluide ou une matière, elle devait donc être en mesure de se conserver.

Mais les interrogations que nourrit Lavoisier à propos du calorique sont plus profondes que cela : « *La lumière est-elle une modification du calorique, ou bien le calorique est-il une modification de la lumière ?* » [15]. En posant cette question à laquelle il ne peut répondre une fois de plus en l'état actuel de ses connaissances car « *dans un système où l'on s'est fait une loi de n'admettre que des faits, [...] on évite autant qu'il est possible, de rien supposer au-delà de ce qu'ils présentent* » [15], il rappelle quelles limites il impose à ses travaux et à ses déductions.

Le calorique peut donc s'intégrer à la liste des modèles imparfaits remarquables que les élèves et les étudiants pourront trouver en science au cours de leur apprentissage, et si l'on suit l'ordre chronologique de l'enseignement scientifique, le calorique devrait alors se trouver évoqué en même temps qu'une théorie corpusculaire de la lumière et qu'une modélisation des réactions de combustion à l'aide d'une équation de réaction. Parmi les autres modèles qui font le lien entre le collège et le lycée se trouvent la classification périodique des éléments et quelques modèles remarquables de l'atome. Intégrer le calorique à cette liste de modèles c'est reconnaître à Lavoisier et Laplace la même démarche scientifique et le même pragmatisme que l'on met en exergue chez Dimitri Mendeleïev (1834-1907) ou Niels Bohr (1885-1962). Le calorique est une théorie construite sur deux hypothèses. Le modèle de Bohr créé en 1913 l'est aussi [16]. Bohr, qui « *avait construit son atome en utilisant un capiteux cocktail à base de physique classique et de physique quantique* » [17], ne s'embarrasse pas de démontrer ou de justifier certaines de ses hypothèses : « *Ayant renoncé à cet espoir fallacieux, il est libre de rapprocher la stabilité de l'atome d'autres propriétés*

qui sont également inexplicables en l'état actuel de la science » [18]. Le modèle de Bohr est resté un grand classique de l'évolution d'un modèle de l'atome en transition avant que la physique quantique, sous sa seconde forme, ne voit le jour, « *d'où un modèle hybride, théoriquement critiquable mais qui [...] va rendre des services immenses, en particulier aux chimistes* » [18].

Introduire en science, assez rapidement, l'idée de modèle et de modification de ces modèles sera un moyen d'éviter la déroute que l'on rencontre parfois chez certains apprenants lorsqu'ils doivent apprendre une nouvelle théorie censée remplacer la précédente. Mettre en perspective les avancées scientifiques dans leur contexte, montrer que dans tous les domaines il s'est agi d'évolution et de transformations qui doivent permettre d'accepter et de comprendre la nouveauté, de ne pas figer son esprit sur un savoir péremptoire et indiscutable, sont des exemples de l'utilisation de l'histoire des sciences. Tous ces exemples de modèles historiques et scientifiques, utilisés en leur temps, qui posèrent chacun des problèmes et révélèrent des anomalies dans la manière dont on percevait la science et qu'on en formulait les hypothèses, montrent une part importante de la conception du modèle et de son succès ou de son échec face à l'expérience. Cette mise en évidence de l'évolution des modèles et des théories est aussi un bon moyen de présenter la discussion et la controverse dans le monde scientifique.

Les notions de modélisation, de démarche scientifique et de controverse font partie intégrante des activités scientifiques des élèves de lycée, en première et en terminale où les programmes développent avec encore plus d'importance le concept d'énergie et de son transfert. Le calorique, en tant que modèle historique utile et imparfait, aura pour chacune de ces thématiques encore un rôle à jouer...

(1) Au XVIII^e siècle, les termes de physiciens ou de mathématiciens ne sont pas encore utilisés dans le sens moderne d'aujourd'hui. Le mot physicien désigne un médecin. À l'Académie des sciences, il n'y a pas de mathématiciens mais des géomètres, pas de physiciens mais des mécaniciens. La polyvalence en termes de connaissances de ces personnages les fait généralement dénommer sous le nom de savant, alors répandu à cette époque. Nous utiliserons donc les termes de l'époque, savant ou philosophe (naturel) à la place de physicien.

[1] Programme d'enseignement scientifique de terminale générale, *Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale* (https://cache.media.education.gouv.fr/file/SPE8_MENJ_25_7_2019/84/7/spe241_annexe_1158847.pdf).

[2] E. Jacques, Le calorique de Lavoisier, un siècle d'évolution de l'invention à la disparition, *L'Act. Chim.*, **2022**, 470, p. 45-51.

[3] Lavoisier est élu adjoint surnuméraire de la classe de chimie en 1768, adjoint à la disparition de Gabriel Jars (1732-1769) en 1769, associé à la classe de chimie en 1772, puis pensionnaire en 1778. Durant ses premières années à l'Académie, il est très pris par ses travaux pour la Ferme Générale et la Régie des Tabacs pour laquelle il organise des tournées d'inspection en Champagne, dans les Ardennes avec une base d'opération autour de Sainte-Menehould. De retour à Paris en 1770 et marié en 1771, c'est véritablement à partir de cette période qu'il possède plus de temps pour se lancer dans ses campagnes d'expériences ; E. Jacques, *Lavoisier*, Ellipses, Paris, **2019** ; J-P. Poirier, *Lavoisier*, Pygmalion, Paris, **1993**.

[4] Les expériences sont réalisées en 1771 et publiées l'année suivante : Procès-verbal des expériences faites dans le laboratoire de M. Rouelle sur plusieurs diamants et pierres précieuses, par Messieurs Darcet et Rouelle, *Journal d'Observations sur la Physique, sur l'Histoire Naturelle et sur les Arts & Métiers, de M. l'Abbé de Rozier, t. I*, Paris, **1772**, p. 480-488 (archive.org).

[5] Sur la destruction des diamants par le feu, *Œuvres de Lavoisier, t. II*, Imp. imp., Paris, **1862**, p. 38-64 (Gallica).

[6] Voir en particulier les expériences 30, 205, 206, 210, 212, 213, 220. Détail des expériences exécutées au moyen du grand verre ardent, *Œuvres de Lavoisier, t. III*, Imp. imp., Paris, **1865**, p. 284-342 (Gallica).

[7] H. Guerlac, *Lavoisier, The Crucial Year*, Gordon & Breach Science Publishers, Londres, **1990**, p. 87.

[8] E. Grimaux, *Lavoisier, 1743-1794*, J. Gabay, Paris, **1888**, p. 336-348 (Gallica).

[9] P.-S. Laplace, A.-L. Lavoisier, Mémoire sur la chaleur, in *Œuvres de Lavoisier, t. II*, Impr. imp., Paris, **1862**, p. 284-290 (Gallica).

[10] Programme de physique-chimie de seconde générale et technologique, BOEN (https://cache.media.education.gouv.fr/file/SPI-MEN-22-1-2019/98/9/spe634_annexe_1062989.pdf).

[11] Les compétences du référentiel du programme de seconde « Observer, S'approprier, Réaliser, Analyser et Valider des expériences » se trouvent totalement illustrées dans la démarche de Lavoisier et Laplace lors de leurs travaux en calorimétrie.

[12] A. Crawford, *Experiments and Observations on Animal Heat, and the Inflammation of Combustible Bodies*, Murray, Londres, **1779**.

[13] Il existe bien une équation de calcul des transferts de chaleur dans le mémoire de Lavoisier et Laplace : $m \times q \times (a-b) = m' \times q' \times (b-a')$, où a et b représentent des degrés de température, m et m' représentent des masses, et q et q' des quantités de chaleur.

[14] J. Perrin, *Les atomes*, Flammarion, **1991**, p. 283 ; R. Millikan, On the elementary electrical charge and the Avogadro constant, *Phys. Rev.*, **1913**, vol. II, ser. II, p. 108-143.

[15] A.-L. Lavoisier, Traité élémentaire de chimie in *Œuvres de Lavoisier, t. I*, Imp. imp., Paris, **1864**, p. 19-20 (Gallica).

[16] N. Bohr, On the constitution of atoms and molecules, part I, *Phil. Mag.*, **1913**, 26, p. 1-24.

[17] M. Kumar, *Le grand roman de la physique quantique*, Flammarion, **2012**, p. 161.

[18] F. Lurçat, *Niels Bohr et la physique quantique*, Éditions du Seuil, **2001**, p. 83-84.

[19] C. Lécaille, *L'atome, chimère ou réalité ?*, Vuibert, **2009**, p. 121.

Eric 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, Unité de recherche Étude sur les Sciences et les Techniques, Université Paris-Saclay, Orsay.

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



L'Union des professeurs de physique et de chimie

Vous présente

son nouveau site : <http://www.udppc.asso.fr>



L'association	Espaces collège et lycée
L'UdPPC ?, Tests, Enquêtes,	Actualités, Les journées... Ressources
Charte graphique, Olympiades,	Espace labo
Partenaires, Positions, Nous soutenons	Actualités, Ressources
Publications	Divers
Le Bup, Nous avons lu,	Agenda, congrès, réseau sociaux,
L'aperçeu du web, Appel aux auteurs,	Sites académiques
Paris au BO, Ressources	

mais l'UdPPC, c'est aussi...

...la publication numérique mensuelle avec impression papier trimestrielle



...la consultation du Bup en ligne par articles et par numéro avec BupDoc

Du 1^{er} janvier au 31 décembre 2022 :

- ◆ Pour tous : 1907 → 2017
- ◆ Pour les abonnés : 2018 → 2022



...un congrès organisé chaque année par une académie différente



Siège social et courrier : 42 rue Saint-Jacques - 75005 PARIS
Tél. : 01 40 46 83 80 - secretariat.national@udppc.asso.fr

