

HISTOIRE DE LA CHALEUR

Francis Halbwachs

Professeur à l'Université de Provence.

Le présent travail - comme celui portant sur l'histoire de l'énergie mécanique (Cuide 18 – à suivre) - constitue un chapitre d'un ouvrage non encore achevé couvrant l'histoire générale de l'Energie et recherchant un éclairage mutuel entre cette histoire et la psychologie cognitive.

HISTOIRE DE LA CHALEUR

Le concept de chaleur a d'emblée un statut très différent de celui de la température. La distinction essentielle est que la chaleur comme telle n'est pas reliée directement à des constatations sensibles. Elle ne se rattache au chaud et au froid comme sensations que, précisément, par l'intermédiaire de la température. Aussi ne peut-on parler proprement d'une notion de chaleur que lorsque - et dans la mesure où - cette notion est explicitement distinguée de celle de température, éventuellement comme qualités ou états distincts d'une même entité, comme par exemple lorsqu'apparaît, à côté du "degré de chaleur", la "quantité de chaleur". Ce qui rend cette distinction malaisée à surprendre, c'est qu'il y a aussi une difficulté et un risque de confusion au niveau sémantique: Le mot "chaleur" - ou un mot similaire que les traducteurs traduisent par chaleur en français - a bien souvent la signification: qualité d'être chaud, et on l'emploie souvent dans ce sens dans le langage courant. Or la notion sous-jacente est alors celle de température, et il peut en résulter des confusions essentielles.

Par exemple, M.Hoppe, dans sa considérable Histoire de la Physique, discute l'opinion courante suivant laquelle chez les anciens, la chaleur était considérée comme une matière pouvant être absorbée ou expulsée par les corps. Il prétend avec raison que dans les textes qui nous restent, le feu quatrième élément de la matière était non pas identifié à la chaleur, mais considéré comme producteur de la chaleur, cette dernière étant un état des corps. Il est évident qu'il s'agit là d'un jeu de mots et que si à la place du mot de chaleur, nous mettons le mot de température - ou, pour ne pas nous compromettre, le mot de "chaud" - nous arrivons à l'énoncé : "le chaud est un état des corps. Il est produit par le feu, matière subtile qui pénètre les corps". Il est alors clair que le terme moderne de chaleur peut ici être substitué au mot de feu, et que nous avons l'expression correcte de la relation entre la chaleur et la température (ou le chaud) avec en plus cette idée que la chaleur est un genre de matière, c'est-à-dire exactement la signification que Hoppe prétend contester !

C'est en effet sous la forme (mythique ?) du feu que la notion de chaleur apparaît pour la première fois en tant qu'entité distincte dans la spéculation hellénique. Ainsi pour Platon (Timée) lorsque le feu - qui par lui-même n'est ni brûlant ni éclairant - pénètre dans un corps, il en met en mouvement les particules et les détache les unes des autres; si le feu est à nouveau éloigné le corps se refroidit et l'air, qui vient remplacer le feu,

comprime à nouveau les particules. C'est pourquoi le feu, non seulement chauffe les corps (les rends brillants) mais en même temps les dilate. Dans le corps humain, le feu chauffe le sang, et dans les liquides qui apportent le chaud (le vin) il est également contenu du feu. Si l'eau perd le feu qu'elle contient, elle se refroidit, et ceci permet d'expliquer l'apparition, dans l'air de la grêle, et sur la terre de la glace, ainsi que la transformation de la rosée en givre.

Mais c'est là un système d'idées très évoluées et même prophétiques, qui ne correspond pas au niveau général de la conception antique de la chaleur, dans laquelle la confusion entre chaleur et température est un trait universellement répandu, et qui empêche toute spéculation claire, non seulement sur la "nature" de la chaleur, mais sur le statut opératoire de la notion. Du reste, comme nous le verrons, ce sont les théories sur la nature de la chaleur qui précèdent et suggèrent les notions logiques précises permettant de séparer clairement et explicitement la chaleur de la température. Nous allons ainsi tenter d'apercevoir la naissance et le développement conceptuel de la notion de chaleur - plus précisément, de "quantité de chaleur" - la forme finale de cette notion étant le concept de quelque chose qui s'additionne et se conserve et qui se trouve dans une relation déterminée avec la température - considérée comme un état des corps repérable sur une échelle. Cette relation consistant en général (mais pas universellement) en ce que la température d'un corps s'élève quand il reçoit de la chaleur, et s'abaisse quand il en perd.

Comme nous venons de le dire - et sauf chez Platon - pour les principaux penseurs de l'Antiquité, il y a indistinction et confusion entre chaleur et température. On notera comment chez Aristote le chaud et le froid, qui sont des qualités fondamentales et opposées de la matière (et non des états relatifs situés sur une échelle), fournissent, en se composant avec le sec et les humides, les quatre types ou éléments de la matière, ce qui revient à confondre qualité et substance.

On notera également qu'aux époques plus tardives et jusqu'au cœur de la Renaissance, cette idée d'un mélange en proportions variables du chaud et du froid continue à sévir (par exemple chez Galilée).

Dans le poème de Lucrèce, on parle de deux substances distinctes, le chaud qui s'écoule du Soleil et le froid qui s'écoule des rivières, de la même manière que l'embrun se forme des vagues de la mer. En particulier Lucrèce donne quelques précisions sur l'idée qu'il se fait de "la matière du feu". L'éclair est composé d'un "feu céleste" fait d'une substance très subtile, et qui par conséquent peut passer par des pores que ne peut pas franchir "notre feu" tel qu'il naît du bois ou s'élance de la torche résineuse. Comme toute chose corporelle, la matière du feu est pesante et sa tendance à monter (Aristote) ne lui est pas inhérente. Sans doute la flamme est engendrée avec un élan vers le haut et c'est vers le

haut qu'elle s'accroît. Mais de même que les céréales et les arbres, qui sans nul doute, sont pesants, croissent vers le haut, de même que les poutres et les planches, qui sont naturellement portées à descendre, sont repoussées par l'eau et vomies avec violence vers le haut, de même la flamme s'élève dans les hauteurs de l'air, grâce à la pression qui la fait jaillir, et bien que sa pesanteur lutte autant qu'il est en elle pour la faire descendre. Il y a donc ici une forte tendance à "substantialiser" la chaleur - mais aussi le froid - au point de lui attribuer une pesanteur, problème qui préoccupera fortement les physiciens jusqu'à la fin du XVIIIème siècle.

En fait, si nous survolons les systèmes d'idées sur la chaleur formée depuis les débuts de la science rationnelle, nous voyons surgir parallèlement deux courants de pensée: les théories "substantialistes", plus anciennes comme nous venons de le voir, et les théories "mécaniques" qui attribuent la chaleur à des mouvements cachés. L'opinion courante parmi les historiens des sciences est que ces deux courants se sont livrés une longue bataille, la théorie substantialiste, métaphysique, simpliste et erronée, étant peu à peu refoulée et battue en brèche par la théorie mécanique ou cinétique, qui, elle, est vraie et juste, comme l'ont prouvé définitivement les travaux de Boltzmann et de ses successeurs.

Nous voulons ici montrer combien cette vision est elle-même simpliste et erronée, et mettre en évidence le rôle essentiellement progressiste qu'a joué, à une étape déterminée, la théorie substantialiste de la chaleur, non pour découvrir la "vraie nature" de la chaleur - ce qui est en soi-même un problème métaphysique - mais pour construire un concept clair et logiquement correct de la chaleur, un concept opérationnel qui permît de manier avec sûreté des relations précises, en fin de compte des relations mathématiques, fournissant la compréhension et la domination de la science de la chaleur dans des vastes champ d'applications. Nous attribuons une grande importance à cette démonstration, car les leçons en sont capitales du point de vue de la didactique de la chaleur.

Et d'abord les deux théories ne sont pas sur le même plan, elles ne parlent pas de la même chose, en ce qui concerne la forme du concept à dégager, et particulièrement de la distinction entre chaleur et température. La théorie mécanique cherche une interprétation du chaud et du froid en tant qu'états thermiques de la matière, tels que nous les font connaître nos sensations, ces états thermiques étant identifiés à des états mécaniques de mouvement ou de vibration.

Dans les divers énoncés par lesquels s'exprime cette théorie, le mot de chaleur est toujours accompagné par le mot d'état ou de degré. La théorie mécanique est une théorie,

non de la chaleur, mais de la température, et ceci jusqu'à une étape avancée, jusqu'au traité de Lavoisier-Laplace, où apparaît un point de vue énergétique, et où ainsi le mot de chaleur désigne proprement la quantité de chaleur contenue dans un corps matériel.

Au contraire, la théorie substantialiste met en jeu, dès le début, directement une substance correspondant à une quantité qui, comme pour chaque substance est conservative et additive. Elle porte donc avec elle, au moins potentiellement, les caractères opératoires de la "quantité de chaleur".

La théorie mécanique est très ancienne, plus ancienne qu'il n'est naturel, et nous aurons à essayer de comprendre comment une telle conception - qui n'est devenue une théorie cohérente que vers 1860 (Clausius, Maxwell) ou 1870 (Boltzmann) et qui n'a réinterprété rigoureusement les concepts de la thermodynamique qu'en 1900 (Gibbs) - comment cette conception a pu naître et se transmettre depuis la Renaissance sans s'appuyer sur aucun argument expérimental direct. C'est dès le XIII^{ème} siècle que nous voyons Roger Bacon attribuer "le chaud" à des mouvements internes de la matière, distincts de ses mouvements externes, et aux efforts contradictoires" des particules qui forment les corps. On trouve une opinion analogue chez Képler, qui parle "d'état de mouvement" des parties des corps, chez Francis Bacon de Verulam en 1620 (De forma Calidi : le chaud est mouvement), chez Descartes en 1644 (Principes de la Philosophie), chez Boyle en 1665 (de l'origine mécanique du chaud et du froid) et chez Huygens (Traité de la lumière 1690).

Donnons quelques détails sur cette théorie mécanique. D'abord la formulation particulièrement nette de Descartes : "C'est une telle agitation des petites parties des corps terrestres, qu'on nomme en eux la chaleur (soit qu'elle ait été excitée par la lumière du Soleil, soit par quelque autre cause) principalement lorsqu'elle est plus grande que de coutume et qu'elle peut mouvoir assez forts les nerfs de nos mains pour être sentie : car cette dénomination de chaleur se rapporte au sens de l'attouchement". C'est bien ce que nous venons de dire.

De même au XVIII^{ème} siècle, des opinions voisines sont exprimées par Newton (1704, Optique), par Amontons (1702), par Euler en 1736 dans un mémoire "sur le feu et sa propagation", qui reçut le prix annuel de l'Académie des Sciences (de Paris), la même année, par Daniel Bernouilli dans son "Hydrodynamique", enfin en 1746 par Jean et Daniel Bernouilli dans un mémoire qui fut derechef couronné par l'Académie des Sciences, ce qui montre que les idées sur la nature mécanique et vibratoire de la chaleur, constituent une doctrine dominante dans les milieux scientifiques officiels. On peut citer les formules particulièrement nettes d'Euler: "Il est tout à fait évident que la chaleur consiste dans quelque mouvement des plus petites particules composant les corps. Ainsi, le feu doit

exciter la chaleur dans tous les corps". (Il est clair que dans cette phrase - comme dans celle de Platon citée par Hoppe - la chaleur désigne le chaud ou la température, le feu, comme cause qui "excite" le chaud, désignant ce que nous appelons chaleur).

Le texte suivant, d'Amontons, est la conclusion du mémoire qui traite de l'augmentation de la pression de l'air par élévation de température, mémoire dans lequel il compare trois récipients de volumes différents contenant de l'air sous la même pression, et d'autre part, un même récipient où l'air est diversement "chargé" (comprimé). L'interprétation des divers faits d'expérience met en jeu une hypothèse sur la structure moléculaire de l'air et une conception cinétique de la chaleur : "On ne peut guère avoir d'autre idée des parties du feu, sinon qu'elles sont en un mouvement continu et très violent; et on ne peut non plus concevoir comment ces parties peuvent échauffer celles des corps les plus solides, qu'en supposant que, par l'effort qu'elles font pour les pénétrer, elles leur communiquent une partie de leur mouvement.

"Mais, comme dans les expériences qui font voir que des masses inégales d'air acquièrent des forces de ressort égales par un même degré de chaleur, il est facile de juger, par le calcul précédent, que toutes les parties d'air qui composent les trois différents volumes d'air ne sont ni plus ni moins serrées les unes que les autres, et que d'ailleurs les parties du feu qui les mettent en mouvement étant pareillement les mêmes, elles ne peuvent pas en communiquer plus aux unes qu'aux autres.

Il est vrai de dire que des masses inégales d'air ne peuvent pas acquérir par un même degré de chaleur des forces de ressort inégales, mais au contraire elle doivent en acquérir d'égales, et c'est ce que l'expérience confirme.

"Quant à ce que ces mêmes masses acquièrent des forces de ressort d'autant plus grandes, par un même degré de chaleur, que ces masses sont plus chargées, il est aisé de comprendre que, plus des masses d'air sont chargées, et plus elles contiennent de parties d'air dans un même espace, et que par conséquent les parties du feu ne sauraient s'insinuer entre ces parties d'air avec la violence que nous savons qu'elles emploient à écarter les parties les plus inébranlables des corps les plus solides, sans écarter ces parties d'air les unes des autres, d'où il suit nécessairement que, plus il y a de parties d'air dans un même espace. et plus l'augmentation du volume où la chaleur le réduit doit être grande ; mais comme d'ailleurs la cause qui augmenterait le volume d'un corps qui fait ressort tel qu'est l'air, s'il avait la liberté de s'étendre, augmenterait pareillement la force de son ressort, s'il n'avait pas cette liberté ; il suit nécessairement que plus des masses d'air sont chargées, plus un même degré de chaleur leur doit faire acquérir une plus grande force de ressort, et c'est ce qui véritablement arrive"

On voit par ce texte génial pour l'époque - comment la conception mécanique, qui relie la température de l'air à l'agitation de molécules plus ou moins "serrées" permet à Amontons d'interpréter logiquement et de prévoir "ce qui véritablement arrive", c'est-à-dire l'augmentation de la pression à la suite d'une élévation déterminée de la température, et la loi qui relie cette augmentation de pression - indépendante du volume - à la pression initiale. C'est là un cas exceptionnel où la théorie mécanique sert de support et d'instrument à un raisonnement portant sur des concepts.

Par ailleurs, on voit aussi la position nuancée - on dirait presque hybride - d'Amontons sur la nature de la chaleur. Il admet un fluide particulier, le feu, qui pénètre dans le vide interstitiel du gaz, et dont l'agitation produit le chaud. Mais il considère aussi que cette agitation du feu se communique en partie aux molécules elles-mêmes, si bien que les vibrations des molécules correspondent en dernière analyse au degré de température. Il y a donc combinaison - et liaison rationnelle - d'une conception substantielle de la chaleur et d'une conception mécanique de la température. Nous nous dispenserons de nous extasier sur la parenté entre cette théorie et la théorie moderne de la chaleur - tout au moins dans les métaux - une telle coïncidence étant purement anecdotique.

Une théorie hybride du même genre est avancée par Newton dans un texte remarquable que nous nous devons de citer, en rappelant que Newton passe généralement pour le défenseur intransigeant de la théorie corpusculaire de la lumière. En réalité, dans une série de conjectures, énoncées sous forme de "questions" qui figurent à la fin du traité d'Optique où cette théorie corpusculaire classique est développée, Newton ouvre la porte à d'autres hypothèses, notamment (question XVII) à l'idée qu'aux corpuscules lumineux puissent se superposer des systèmes "d'ondes de vibrations ou de trémoussements [qui] soient par là excitées au point d'incidence dans le milieu romptant [réfringent] ou réfléchissant". Après quoi (Question XVIII) il décrit une expérience dans laquelle il place dans la même pièce froide deux vases de verre identiques, munis de thermomètres, l'un plein d'air, l'autre où l'on a fait le vide. Puis, ayant transporté les deux vases dans une pièce chauffée, il constate que "le thermomètre qui est dans le Vuide deviendra aussi chaud, et presque aussitôt que le thermomètre qui n'est pas dans le Vuide". D'où la question: "La chaleur du lieu chaud n'est-elle pas communiquée à travers la Vuide par les vibrations d'un Milieu beaucoup plus subtil que l'Air, lequel Milieu reste dans le Vuide après qu'on en a pompé l'Air ? Et ce Milieu n'est-il pas le même que le Milieu qui rompt et réfléchit la Lumière, et par les vibrations duquel la Lumière chauffe les Corps ? ... Les vibrations de ce Milieu ne contribuent-elles pas à la véhémence et à la durée de leur chaleur ? et les Corps chauds ne communiquent-ils pas leur chaleur aux

Corps froids contigus par les vibrations de ce Milieu, continuées des Corps chauds dans les Corps froids?

Ce Milieu n'est-il pas excessivement plus rare et plus subtil que l'Air, et excessivement plus élastique et plus actif ? Ne pénètre-t-il pas facilement tous les Corps ? et par sa force élastique, ne se répand-il point dans tous les Cieux" ?

On voit ici, à travers le problème posé par le transport de chaleur par la lumière à travers le vide, surgir encore, sinon une substance, du moins un Milieu "subtil" et dont les vibrations constituent et transmettent la chaleur. C'est le même rapport entre la lumière et la chaleur "rayonnante" qui a été souligné 15 ans plus tôt par Huygens, comme nous le verrons dans un instant, à l'appui d'une théorie vibratoire de la chaleur, y compris de la chaleur contenue dans les corps matériels.

Mais le moment est venu de nous demander quelle est la raison d'être de ces théories, si insistantes et si anciennes, sans aucun support expérimental direct, et qui - sauf dans le cas singulier d'Amontans - ne fournissaient nullement pour la chaleur (ni du reste pour la température) un concept maniable et opératoire. Nous pouvons trouver deux sources et deux points d'appui à la théorie mécanique.

Le premier se réfère à des exemples courants d'obtention de la chaleur par les chocs et les mouvements. Ainsi, dans le résumé donné par Bleck de l'histoire des théories de la chaleur, nous lisons à propos du traité de Francis Bacon de Verulam : "Dans ce traité, il énumérait tous les principaux faits connus à cette époque concernant la chaleur et sa production, et il tentait, après un examen soigneux et réfléchi de ces faits, de présenter une théorie bien fondée sur la cause de la chaleur.

"Cependant, la seule conclusion qu'il fût en mesure de tirer de l'ensemble de ces faits est une conclusion très générale, selon laquelle la chaleur est mouvement. Cette conclusion reposait essentiellement sur l'examen de différents moyens par lesquels la chaleur est produite, ou fait son apparition, dans les corps, tels que le martelage du fer, le frottement des corps solides, le choc du silex sur l'acier.

"Le premier de ces exemples est une pratique à laquelle les forgerons ont parfois recours pour allumer un feu; ils prennent une tige de fer doux d'un demi-pouce (ou moins) d'épaisseur et, posent l'extrémité sur leur enclume, ils tournent et retournent cette extrémité et la frappent très rapidement avec un marteau sur toutes ses faces; la tige devient très vite incandescente et peut servir à enflammer des copeaux de bois ou d'autres substances très combustibles.

"La chaleur que peut produire un fort frottement entre des corps solides apparaît souvent sur certaines parties des machines mécaniques lourdes, si on n'a pas pris soin de diminuer ces frottements autant qu'il est possible par interposition de substances

lubrifiantes. On raconte que d'épaisses forêts ont parfois pris feu à cause de branches frottant l'une contre l'autre en temps de tempête. Des sauvages de différentes régions du monde se servent du frottement de deux morceaux de bois l'un sur l'autre pour allumer leurs feux.

"Dans tous ces exemples, de la chaleur est produite ou apparaît tout à coup dans des corps, qui ne l'ont pas reçue de la façon ordinaire par communication à partir d'autres corps. Mais la seule cause de sa production est une force ou un choc mécanique, ou une violence mécanique.

Il était par conséquent très naturel pour Lord Verulam de conclure que le plus ordinaire, et même peut-être le seul effet d'une force ou d'un choc mécanique sur un corps est la production de quelque sorte de mouvement affectant le corps".

C'est à partir de ces considérations relativement triviales que s'est répandu, d'après l'opinion de Black (qui précisons-le, est un adepte déclaré de la théorie "substantialiste") principalement chez les "philosophes anglais", l'opinion que le mouvement considéré consiste dans un tremblement ou une vibration rapide de petites particules dont est constitué le corps qui s'échauffe, et que son échauffement n'est pas autre chose qu'un accroissement de ces mouvements vibratoires, par ailleurs imperceptibles.

Une autre source, tout à fait différente, de cette conviction, doit être cherchée dans les principes ou présupposés philosophiques de beaucoup de partisans de la théorie mécanique. Cela ressort de façon frappante de la citation suivante de Huygens (Traité de la lumière).

"Il ne peut y avoir aucun doute sur le fait que la lumière consiste dans le mouvement d'une certaine substance. Car si nous examinons son mode de production, nous trouvons que, ici sur la Terre, c'est principalement le feu et la flamme qui l'engendrent. Or l'un et l'autre contiennent sans aucun doute des corps qui sont animés de mouvements rapides, puisqu'ils consomment et détruisent beaucoup d'autres corps plus solides qu'ils ne sont; alors que, si nous considérons les effets de la lumière, nous voyons que, lorsque de la lumière est accumulée disons par un miroir concave, elle devient capable de produire des combustions, tout à fait de la même manière que le feu - c'est-à-dire qu'elle désunit les parties constituantes des corps, ce qui est assurément la preuve d'un mouvement au moins d'après la vraie philosophie, pour laquelle les causes de tous les effets naturels ne peuvent être conçues que comme des causes mécaniques. Ce qui à mon avis doit être universellement établi, Sans quoi on doit renoncer à tout espoir de jamais comprendre la physique".

Nous voyons s'affirmer ici très crûment un a priori philosophique, qui a reçu dans l'histoire des idées le nom de "mécanisme", ou mieux de "mécanicismo",

et qui court comme un fil conducteur à travers les doctrines scientifiques, depuis le projet de Descartes de tout ramener à des explications "par figure et mouvement" jusqu'à la conception du déterminisme de Laplace, pour lequel tous les phénomènes de la nature pouvaient être réduits à des mouvements mécaniques, donc entièrement déterminés (et même prédictibles) par la donnée des positions et des vitesses de tous les corps à un même instant (Essai philosophique sur les probabilités, 1795). Cette hypothèse - pour métaphysique qu'elle soit - aurait pu conduire à des résultats théoriques importants : si la chaleur - et si tous les autres phénomènes - sont mécaniques dans leur essence, alors non seulement le déterminisme laplacien, mais d'autres principes généraux de la Mécanique, devraient pouvoir être étendus à la nature entière, et en particulier à la chaleur. En premier lieu la loi de la conservation de l'énergie mécanique devrait fournir comme conséquence la loi de la conservation de la chaleur tout au moins dans les cas où il n'y a pas transformation mutuelle entre l'énergie mécanique ordinaire et l'énergie mécanique de forme calorifique. En réalité, les choses ne se sont semble-t-il pas passées de cette façon et aucune conséquence opératoire concernant la conservation de la chaleur ne paraît avoir été tirée des conceptions mécanistes, jusqu'à une époque assez avancée (Lavoisier et Laplace), époque où le principe de conservation de la chaleur était déjà solidement établi, sur la base de la théorie substantialiste du "calorique" dont il nous reste à parler.

L'idée d'associer le "chaud" à une substance particulière, que nous avons rencontrée chez les anciens sous la forme du "feu" - et qu'on retrouve au XVII^{ème} siècle, notamment chez Gilbert, Galilée, Gassendi, Boyle - reçoit un contenu scientifique, c'est-à-dire opératoire, au début du XVIII^{ème} siècle, sous l'influence du premier système scientifique de la chimie, la théorie édiflée entre 1700 et 1720 par Becher et Stahl, qui est centrée sur la notion de phlogistique et qui fut adoptée par la grande majorité des chimistes jusqu'à la critique de Lavoisier (1775-85), essentiellement parce qu'elle fournissait un cadre théorique où pouvaient trouver place l'ensemble des faits qualitatifs fournis par l'expérience jusqu'à la fin du XVIII^{ème} siècle. Déjà certains écrits de l'Antiquité (Pline) interprètent les combustions comme un départ d'une substance ("la matière du feu") qui se sépare d'une autre substance, avec laquelle elle était unie pour former le corps combustible. C'est l'idée essentielle de Stahl : une combustion vive est un dégagement d'une substance qui sort du combustible, qui s'y trouvait antérieurement retenue sous forme passive, et à laquelle on donne proprement le nom de phlogistique. De façon plus générale, la "calcination" des métaux (que nous nommons oxydation) est essentiellement un processus de décomposition: dans le métal initial le phlogistique était uni avec une "chaux.métallique" (oxyde) qui après calcination, se retrouve comme résidu de l'opération.

On peut de même interpréter l'obtention d'un métal à partir d'une chaux (réduction) par l'action de charbon, comme consistant en ce que le charbon, matière très

riche en phlogistique, cède ce dernier à la chaux qui se transforme en métal. C'est donc une réaction de combinaison de la chaux avec le phlogistique. Enfin, le rôle de l'air dans les combustions vives était interprété en disant que le feu proprement dit (la flamme) manifestait la combinaison du phlogistique, lors de sa sortie du combustible, avec l'air, combinaison qui ne pouvait se faire (en vase clos) qu'en quantité limitée, à savoir jusqu'au point où la quantité d'air employée était entièrement "phlogistiquée" après quoi il demeurait inerte et incapable d'entretenir les combustions, ni de participer à la calcination des métaux en extrayant le phlogistique de la chaux métallique. Ainsi, l'ensemble des faits peut être classé et interprété dans le cadre de cette théorie.

Une circonstance - qui s'avère peu à peu tout à fait générale - était cependant très gênante pour ce système toutes les fois que le produit d'une "calcination" est un corps solide et peut être pesé, on constate que la "chaux métallique" est plus lourde que le métal correspondant: de façon générale le départ de phlogistique par combustion ou calcination entraîne une augmentation de poids, la fixation de phlogistique par réduction entraîne une diminution de poids. Mais, dans les premiers temps cette difficulté ne paraît pas avoir beaucoup ému les chimistes, une faible attention étant prêtée à cette époque au contrôle du poids, et en général à l'aspect quantitatif des réactions chimiques. C'est en concentrant son attention sur cet aspect - et également en étudiant de près les transformations qui s'opèrent en phase gazeuse - que Lavoisier provoqua la "révolution chimique" où sombra finalement le phlogistique. Mais à l'époque de Stahl, c'était une question généralement négligée.

Cependant, c'est en considération de l'augmentation de poids par calcination que Boerhave (1712) fit les premiers essais (négatifs) pour déterminer le poids de la chaleur, c'est-à-dire pour voir si un corps variait de poids par échauffement. Il se contente de conclure que l'augmentation de poids par calcination ne pouvait être due à une matière de la chaleur qui serait pondérable, et de conjecturer que cette augmentation de poids pouvait être due à une substance, autre que la chaleur, provenant du charbon (mais laquelle de ces "substances" est le phlogistique ?) D'autres (Guyton de Morveau, 1772) émirent l'hypothèse, séduisante et qui expliquerait tout, que le phlogistique aurait un poids négatif, comme le feu d'Aristote. Mais il ne semble pas que cette idée ait été très répandue.

C'est ce paradoxe de l'augmentation de poids de chaux métallique qui fait dire à F. Cajori*, à tort à notre avis, qu'il y a eu à la fin du XVIIIème siècle un conflit entre la théorie du phlogistique et celle du calorique. Il est certain que la théorie du phlogistique, construite pour expliquer uniquement les faits de la chimie, ceux où il y a transformation des espèces chimiques, et où les relations de masses sont, dans la réalité, un aspect fondamental des phénomènes, ne peut être confondue avec la théorie du calorique, qui ne

porte que sur les phénomènes où il n'y a pas de modification chimique, et où chaque sorte de matière se conserve Sans changement de poids. Il n'en reste pas moins que la démarche essentielle de l'école de Stahl revenait à se guider avant tout sur la production ou l'absorption de chaleur, en négligeant le sens de variation de poids, et bien plus, à substantier cette chaleur produite et absorbée pour en faire un type spécial de matière. Ainsi, on peut résumer comme suit l'histoire de la "matière du feu" au cours du XVIIIème siècle. D'abord, la matière du feu est utilisée sous le nom de phlogistique à interpréter les phénomènes chimiques où des substances matérielles (pesantes) différentes s'unissent et se séparent. Ensuite, cette conception est étendue à d'autres domaines de phénomènes, où la matière du feu pénètre dans les corps, ou sort des corps, en produisant seulement une variation de température ; et également aux cas où il y a changement de l'état physique des corps, sans variation de température (fusion-solidification ou vaporisation-liquéfaction). Dans ces deux derniers cas, on ne peut mettre en évidence aucune variation de poids. C'est la théorie du "calorique". Par la suite, la théorie du phlogistique fut contestée, et finalement détruite, lorsqu'on s'intéressa aux variations de poids, et également à l'absorption et au dégagement des diverses espèces de corps à l'état gazeux. Mais la théorie du calorique qui portait sur un domaine de phénomènes où ne se produit aucune variation de poids, échappa à cette destruction et subsista encore pendant quelques dizaines d'années, avant de succomber à son tour sous des critiques d'un autre genre. Elle laissa en héritage à la physique la notion de la quantité de chaleur, considérée comme quelque chose qui se conserve et s'additionne, notion qui, sous une forme généralisée, devint la notion d'énergie.

Revenons maintenant à l'histoire spécifique de la théorie du calorique. L'un des premiers théoriciens de la matière calorique est Christian Wolff (1720). Pour lui, la chaleur se loge dans diverses sortes de "pores" qui criblent la matière des corps. A l'état ordinaire, ou d'équilibre thermique, cette chaleur est au repos, elle n'est pas décelable. Elle n'apparaît à nos sens que lorsqu'elle varie, c'est-à-dire se déplace. Ce déplacement peut se faire de différentes façons. D'une part dans les échanges qui accompagnent l'égalisation des températures ; les quantités respectives de chaleur qui se fixent sur les différents corps dépendent de la grosseur différente des trous qu'on rencontre dans les différentes sortes de matière, ce qui explique la différence des "chaleurs spécifiques" (comme on dira un peu plus tard). Dans d'autres cas, la chaleur se déplace pour accompagner un changement d'état physique, fusion ou vaporisation, ou encore dissolution de certains corps dans l'eau (mélanges réfrigérants, salpêtre). Enfin Wolff met en doute que cette substance de la chaleur soit la même que celle de la lumière et que celle du feu, car elle peut se communiquer à des corps incapables de brûler ni d'émettre de la lumière.

Au début du XVIIIème siècle, cette théorie identifiant la chaleur à une substance qui pénètre les corps dans tout leur volume, et qui étant, en tant que substance, essentiellement indestructible et incréable, fournissait à son tour un cadre conceptuel très utile pour interpréter l'ensemble des faits expérimentaux connus à cette époque concernant la chaleur et la température. Celle-ci était considérée comme un "degré", un niveau ou une intensité du calorique.

Lorsque deux corps à des températures différentes sont mis en contact, ou à proximité l'un de l'autre, le calorique s'écoule du corps le plus chaud dans le corps le plus froid, jusqu'à ce que leurs températures se soient égalisées, de la même façon que s'écoule l'eau entre deux récipients remplis à des niveaux différents, lorsqu'on les fait communiquer par un tuyau, ou de la même façon que s'écoule l'air entre deux récipients remplis à des pressions différentes lorsqu'on les met en communication par un tuyau.

Lorsqu'on chauffe un morceau de fer en le frappant avec un marteau, c'est que le martelage fait gicler le calorique hors des pores du métal, comme giclerait l'eau d'une éponge qu'on soumettrait au même traitement. Lorsqu'on alèse l'âme d'un canon avec un outil, les copeaux arrachés par l'outil sont brûlants, c'est que ces copeaux, tout menus, ne peuvent retenir le calorique qu'ils contiennent et celui-ci s'échappe en produisant une élévation de température.

Ainsi, cette conception fournissait des réponses simples et faciles à tous les problèmes ordinaires. Elle fournissait - et c'est plus important- un cadre conceptuel pour formuler et résoudre tous les problèmes quantitatifs de la science de la chaleur.

C'est en effet dans le cadre des idées du calorique que fut édifiée pour l'essentiel, vers les années 1760, toute la science de la chaleur, ceci à travers l'œuvre de Joseph Black. Nous allons donner quelques détails sur cette oeuvre (connue par une série de conférences rédigées par J. Robison et publiées seulement en 1803, après la mort de Black) en insistant sur le principal apport de Black, à savoir la distinction claire et définitive entre la notion de chaleur et celle de température, distinction qui du même coup élève ces deux notions au rang de concept scientifique.

Mais auparavant nous devons citer un passage de l'œuvre d'un précurseur. Brook Taylor, qui en 1723, posa les fondements de ce qui devait devenir, dans les mains de Fahrenheit et de Black, la méthode précise de mesure des déplacements du calorique.

"Je me suis procuré un bon thermomètre à huile de lin [dont, rappelons-le l'usage remonte à Newton 1701] que je repérai au moyen de fines divisions, non de la capacité du tube dans ses diverses sections, comme doit normalement être gradué un

thermomètre. Je me procurai aussi deux récipients d'étain de faible épaisseur, de même forme de même capacité, contenant chacun environ un gallon [4 litres 1/2]. prenant soin dans chaque essai que les récipients soient froids avant d'y verser de l'eau froide, et que le récipient dans lequel je voulais verser de l'eau chaude, soit également chaud, je versai successivement dans les récipients, une, deux, trois... parts d'eau bouillante et achevai de les remplir avec de l'eau froide (dans le dernier cas le récipient était entièrement rempli d'eau bouillante). Dans chaque cas, je plongeais le thermomètre dans l'eau et j'observais à quelle division il montait, faisant chaque essai dans les deux récipients pour avoir une meilleure exactitude. Et ayant d'abord noté la hauteur où le thermomètre s'arrêtait dans l'eau froide, je trouvais que son élévation à partir de cette division, soit la dilatation de l'huile, était exactement proportionnelle à la quantité d'eau chaude introduite dans le mélange, c'est-à-dire au degré de chaleur".

La dernière formule nous paraît équivoque, quant au schéma conceptuel qui inspire l'expérience. Y a-t-il une idée de la conservation de la chaleur, ou seulement l'étude d'une relation empirique qui se trouve approximativement être linéaire. Rappelons-nous qu'une trentaine d'années auparavant, Renaldini définissait l'échelle de température par la condition d'être proportionnelle à la composition d'un mélange d'eau froide et d'eau chaude.

Et abordons le traité de Black qui, beaucoup plus clairement, définit les concepts qu'il utilise. Black part de l'idée usuelle ("que nous pouvons nous former primitivement même sans l'aide d'un thermomètre") que la chaleur montre une tendance à diffuser spontanément d'un corps chaud vers les corps plus froids qui l'entourent, et ceci "jusqu'à ce qu'elle se soit distribuée entre ces corps de telle façon qu'aucun d'eux ne soit disposé à prendre aux autres corps un tant soit peu plus de chaleur". A ce moment on a atteint un équilibre entre les divers corps, équilibre qui se traduit, comme nous l'avons déjà dit, par le fait qu'un thermomètre appliqué successivement sur tous les corps en présence indique toujours une seule et même température. Et le problème auquel va s'attaquer Black, c'est de savoir dans quelle proportion les divers corps se sont partagé la quantité de chaleur.

On voit déjà ici que le caractère de grandeur mesurableadditive et (implicitement) conservative est déjà constitué dans l'esprit de Black, sans quoi le problème posé n'aurait aucun sens.

Black discute alors diverses hypothèses : Ainsi les professeurs Boerhaave et Muschenbroeck ont affirmé que la chaleur se distribuait proportionnellement au volume : Boerhaave : "il y a une égale quantité de chaleur dans chaque égale étendue d'espace, même si celui-ci est rempli de matières différentes". Muschenbroeck : "Le feu est distribué également dans toutes les parties, de telle sorte que dans chaque pied cubique, qu'il soit rempli d'or, ou d'air, ou de plumes, il y ait une quantité égale de feu". "La raison, rétorque Black sur laquelle ils appuient cette opinion, est que, quelque soit celui de ces corps où l'on applique le thermomètre, il indiquera le même degré. Mais ceci est raisonner très hâtivement sur ce sujet. Cela revient à confondre la quantité de chaleur contenue dans les différents corps avec la force ou l'intensité générale de cette chaleur, alors qu'il est bien clair qu'il s'agit là de deux choses différentes qui doivent toujours être distinguées quand on s'occupe de distribution de la chaleur".

On voit par cette dernière phrase combien clairement Black pose la distinction entre chaleur et température, comme une distinction opératoire permettant de comprendre - et comme nous le verrons, de calculer - ce qui se passe dans les problèmes d'équilibre des températures et de distribution des quantités de chaleur. Rappelons encore la différence fondamentale de ces deux notions au point de vue cognitif, la température étant directement lue au moyen du thermomètre (et qualitativement évaluée par les impressions sensorielles) tandis que la chaleur, comme "quelque chose" qui passe du corps chaud au corps froid, a le caractère d'une pure construction mentale qui est munie des bonnes propriétés opératoires par son assimilation plus ou moins explicite à une "substance".

Une autre hypothèse considérée par Black, est qu'il existe une proportion constante entre les masses des corps (leurs "quantités de matière") et les quantités de chaleur qu'ils contiennent à une même température. Mais Black rejette aussi cette hypothèse comme contradictoire avec des expériences antérieures de Wilcke et de Godolin (tendant en fait à constituer la notion de "capacité calorifique") et aussi avec des expériences de Boerhaave et Fahrenheit sur le mélange d'eau et de mercure pris à des températures différentes, expériences qu'il relate soigneusement. Mais auparavant il pose en principe que "les quantités de chaleur que doivent recevoir des matières de différentes sortes pour se mettre en équilibre les unes avec les autres, ou pour élever leurs températures d'un même nombre de degrés, ne sont pas en proportion des quantités de matière, mais en proportion tout à fait différente de celle-là et, pour laquelle

aucun principe général, aucune raison ne peut être invoquée jusqu'à présent". L'analyse de ces expériences nous montre que "dans le cas où nous pouvons avoir l'occasion de rechercher la capacité des différents corps pour la chaleur, nous ne pouvons la connaître qu'en faisant des expériences".

Les deux méthodes auxquelles on peut avoir recours, et qui n'ont pas été découvertes par Black sont, d'une part la méthode du flux constant de chaleur, l'autre la méthode des mélanges. Dans la première, imaginée par le Dr Martine "On place devant un bon feu, et à une égale distance de lui, deux volumes égaux d'eau et de mercure, contenus l'un et l'autre dans des récipients égaux et semblables, chacun étant muni d'un thermomètre sensible plongeant dans le liquide. On observe soigneusement l'allure ou la vitesse avec laquelle chacun des deux liquides est échauffé par le feu, et avec laquelle montent les thermomètres. On trouve, par des expériences répétées, que le mercure est échauffé par le feu presque deux fois plus vite que l'eau". L'expérience est refaite - avec le même résultat - en refroidissant les deux liquides d'une façon aussi identique que possible par un courant d'air froid.

L'autre méthode, due essentiellement à Fahrenheit, consiste, comme on le sait, à mélanger dans un même récipient de l'eau froide et du mercure chauffé, en quantités déterminées, et à lire la température finale du mélange. On raisonne sur cette expérience en supposant qu'une même quantité de chaleur a passé du corps chaud, qui se refroidit, sur le corps froid qui s'échauffe, et en déterminant en conséquence la capacité respective de l'eau et du mercure pour la chaleur : "Lorsqu'on introduit un gros morceau de fer incandescent dans une enceinte contenant un grand nombre d'autres corps de toutes sortes, de façon que la chaleur cédée à ces corps élève uniformément leur température de 20 degrés, nous ne devons pas en conclure que la chaleur communiquée à ces corps ait été également divisée entre eux". Certains d'entre eux attireront et retiendront une plus grande quantité que d'autres de cette chaleur - ou de cette matière calorique. Et la quantité reçue par chacun ne sera pas en proportion de leurs densités, mais dans une proportion totalement indépendante des densités ; et peut-être qu'il n'y en aura pas deux qui recevront exactement la même quantité, mais chacun, selon sa capacité propre, ou sa propre force d'attraction pour cette matière, attirera et exigera sa quantité propre pour que sa température s'élève de 20 degrés, ou pour qu'il soit dans un état d'équilibre, ou d'égalité de saturation avec les corps qui l'entourent. Nous devons donc conclure que des corps différents, bien qu'ils puissent être de même grandeur, ou autrement de même poids, lorsqu'ils sont réduits à la même température, au même degré de chaleur,

(quoique cela puisse être), contiennent des quantités différentes de la matière de la chaleur ; quantités différentes qui sont nécessaires pour les porter à ce niveau, ou à cet équilibre les uns avec les autres".

Nous avons tenu à citer ce texte en soulignant les expressions métaphoriques, parce qu'on y voit s'affirmer avec une grande clarté la distinction conceptuelle entre température et quantité de chaleur, et qu'en même temps on suit le processus par lequel la conception substantialiste de la "matière calorifique" et de son "attraction" par les corps conduit à dissocier la quantité de chaleur de la quantité - volumique ou pondérale - de la matière ordinaire.

La deuxième occasion où Black acheva de clarifier la distinction entre chaleur et température fut sa découverte de la notion de chaleur latente de changement d'état, et ceci en contestant les idées qu'avaient à cette époque tous les physiciens : "La fusion était universellement considérée comme produite par l'apport d'une toute petite quantité de chaleur à un corps solide, une fois que celui-ci ait été chauffé jusqu'à son point de fusion, et le retour du liquide à l'état solide était considéré de même comme produit par une très petite diminution de la quantité de chaleur, après que le corps ait été refroidi jusqu'au même degré. On croyait que cette petite addition de chaleur au cours de la fusion était nécessaire pour produire la petite élévation de température indiquée par un thermomètre placé dans le liquide résultant ; et que lorsque le corps fondu était à nouveau solidifié, il ne subissait pas une plus grande perte de chaleur que celle correspondant à un abaissement de la température du solide résultant, tel que l'indiquait encore le même instrument". On aperçoit ici le noeud du problème : la confusion entre chaleur et température ; une variation très petite de la température à partir du point de changement d'état est considérée comme manifestant également une très petite quantité de chaleur enlevée ou ajoutée. Black "trouva bientôt des raisons de rejeter cette opinion comme en contradiction avec beaucoup de faits observables, lorsqu'on les considère attentivement : et je m'efforçai de montrer que ces faits sont des preuves convaincantes que la fusion est produite par la chaleur d'une façon très différente. L'opinion que je me formai à partir d'une observation attentive des faits et des phénomènes est la suivante : quand de la glace ou une autre substance solide est fondue, je pense qu'elle reçoit une beaucoup plus grande quantité de chaleur qu'on ne peut le percevoir immédiatement après par le moyen du thermomètre. Une grande quantité de chaleur pénètre dans la substance dans cette occasion, sans la rendre apparemment plus chaude, d'après ce qu'on peut observer avec cet instrument. Cette chaleur doit être apportée à la substance pour la porter à l'état liquide. Et j'affirme que cette addition de chaleur est la cause

principale et immédiate de la liquéfaction produite". Un des arguments les plus frappant apportés par Black est l'allure très lente et progressive du dégel : s'il suffisait d'une très petite addition de chaleur apportée par l'air au printemps, pour réduire en eau les immenses quantités de neige et de glace formées au cours de l'hiver, alors cette fusion s'opérerait en quelques minutes et il se produirait chaque fois des inondations catastrophiques. Il est extrêmement remarquable que cette conséquence simple n'ait pas été aperçue immédiatement par tous les savants de l'époque, et cela montre quels empêchements à la compréhension peuvent résulter d'un concept mal formé ou mal distingué d'un autre concept.

Ayant ainsi précisé les concepts, Black se propose de mesurer la quantité de chaleur absorbée lors de la fusion de la glace. Il opère d'abord par la méthode de Martin (flux continu de chaleur) puis par la méthode des mélanges : "Lorsqu'on mélange des poids égaux d'eau chaude et d'eau froide, la température du mélange est la moyenne entre celles de l'eau chaude et de l'eau froide.

Aucune quantité de chaleur n'a disparu à cette occasion, autant que nous puissions l'observer ; c'est seulement l'intensité de cette chaleur qui a été diminuée par la diffusion de la chaleur dans une plus grande quantité de matière. Il était par conséquent évident que si une quantité de chaleur est absorbée et disparaît lors de la fusion de la glace, cela pourra être facilement mis en évidence si on fait fondre de la glace en la mélangeant avec de l'eau chaude ».

Des considérations tout à fait analogues du phénomène inverse de la solidification, et Black s'attache à mesurer la chaleur de congélation de l'eau, notamment en étudiant le phénomène –déjà connu- de solidification brusque de l'eau en surfusion. L'égalité de la chaleur absorbée par la fusion et libérée par la solidification achève de fonder tout le système opératoire : la grande quantité de chaleur absorbée au cours de la fusion n'est pas détruite, mais elle reste cachée - latente - et peut être complètement récupérée à partir du liquide en le congelant. En d'autres termes, il peut avec assurance étendre le principe de conservation de la chaleur en l'appliquant à la chaleur "latente" aussi bien qu'à la chaleur "sensible" (manifestée par une variation de température).

Enfin Black n'a aucune peine à étendre ces considérations au phénomène de la vaporisation et de la liquéfaction. Il est remarquable que, d'après ce que nous dévoile

Robison dans sa Préface "Black enseigna la doctrine de la chaleur latente de vaporisation dès 1701, avant d'avoir fait une seule expérience sur ce sujet, parce qu'il pensait que ce que nous pouvons observer chaque jour était suffisant pour résoudre les principales questions". Par la suite, un grand nombre d'expériences - notamment la mesure plus précise de la chaleur latente de vaporisation de l'eau - furent faites sous sa direction par un de ses élèves, qui n'était autre que James Watt, qui se familiarisa ainsi avec les problèmes du maniement de la vapeur d'eau.

La conclusion de Black est la suivante : "J'imaginai qu'au cours de l'ébullition, de la chaleur est absorbée par l'eau et entre dans la composition de la vapeur produite, de la même manière que de la chaleur est absorbée par la glace lors de la fusion et entre dans la composition de l'eau résultante. Et, de même que l'effet observable de la chaleur dans ce dernier cas consiste, non pas à échauffer les corps environnants, mais à transformer la glace en eau ; de même, dans le cas de l'ébullition, la chaleur absorbée n'échauffe pas les corps environnants, mais transforme l'eau en vapeur. Dans les deux cas nous ne percevons pas sa présence en tant que cause d'échauffement : elle est dissimulée ou latente, et je lui donnai le nom de chaleur latente".

A la fin de ses leçons, Black donne un aperçu des différentes théories sur la nature de la chaleur et explique pourquoi il prend parti pour la théorie du calorique : "Lorsque nous observons que ce que nous appelons chaleur disparaît au cours de la liquéfaction de la glace,, et réapparaît dans la congélation de l'eau, et un grand nombre de phénomènes analogues, nous pouvons difficilement éviter de penser à une substance qui peut s'unir avec les particules de l'eau de la même manière, disons, les particules du Sel de Glauber s'unissent avec le même liquide en solution, et peuvent de même en être séparées. Mais, puisque nous n'avons jamais observé la chaleur à l'état libre, toutes nos idées sur ce genre d'union sont seulement des hypothèses. Bien plus, ces hypothèses doivent être combinées avec d'autres hypothèses sur les modes d'union de ces autres substances". On voit bien ici la relation avec la théorie du phlogistique.

"La chaleur, dit encore Black, doit être considérée comme contenue ou logée de quelque manière dans les pores de la matière, et il nous reste à rendre compte des changements observables des corps, tels que l'augmentation de volume, la fusion ou la vaporisation, en cherchant les ressemblances entre ces phénomènes et ceux qui accompagnent les combinaisons ou les mélanges chimiques.

Un argument qui paraît décisif pour Black, c'est l'existence pour chaque substance d'une "chaleur spécifique" sans relation avec la densité de matière (masse volumique). En effet, cette particularité s'explique fort bien dans le modèle du calorique, par l'idée d'une "capacité spécifique" des différentes substances pour le calorique (par exemple avec l'hypothèse de "pores" de grosseurs différentes) tandis que la théorie mécanique lui paraît devoir entraîner nécessairement que les substances les plus denses devraient avoir les plus fortes chaleurs spécifiques, ce qui n'est pas le cas (eau et mercure).

Il reste une difficulté, liée à l'échec des tentatives pour mettre en évidence le poids de la chaleur, la plupart des contemporains estimant inconcevable qu'une substance, si "subtile" soit-elle, puisse être entièrement dépourvue de "gravité". Black est conscient de l'importance de l'objection, mais il conclut : "cependant et nonobstant cette difficulté, je suis persuadé que, à mesure que nous progresserons, nous serons de plus en plus fortement saisis par la conviction que la chaleur c'est-à-dire le chaud est un effet d'une substance particulière".

La théorie du "calorique" (le mot est de Lavoisier) a été systématisée -nous dirions presque dogmatisée- par l'exposé du Dr Cleghorn (1779) auquel Black se réfère explicitement. Donnons-en les traits principaux (d'après D. Roller¹) :

- 1) Le calorique est un fluide élastique dont les particules se repoussent fortement les unes les autres.
- 2) Les particules du calorique sont attirées par les particules de la matière ordinaire, la force de cette attraction étant différente pour des substances différentes et pour différents états d'agrégation.
- 3) Le calorique est impossible à créer ou à détruire.

Ici Roller remarque : "ce principe de conservation de la chaleur était dès le début regardé comme plausible ; car depuis le temps des Grecs, régnait l'idée que la matière était indestructible, et ainsi, si la chaleur était de la matière, alors elle devrait être indestructible". Cette façon de présenter la relation d'implication : substantialité entraîne conservation, nous paraît très simpliste et peu conforme à ce que nous savons du mode réel de construction des concepts, et en particulier de ce que nous avons vu à propos de la chaleur : la conservation (ainsi que l'additivité) de la chaleur s'introduit -"dès le début" comme une propriété opératoire essentielle du concept en formation. Mais pour une

¹ Duane Roller - The early development of the concept of temperature and heat Harvard Univ. Press

pensée qui procède généralement du concret vers l'abstrait, la notion parcourt d'abord une étape où les propriétés opératoires ne peuvent être clairement saisies que liées à des propriétés concrètes, à une image concrète. Nous dirions plutôt : la substantialité est la forme primitive sous laquelle est saisie la conservation, dans un état où sa structure formelle est inséparable d'un contenu bien déterminé, et procède ainsi par analogie avec les substances matérielles, l'eau par exemple. Nous retombons d'accord avec Roller quand il ajoute : Mais avec le développement de la méthode des mélanges ainsi que du concept de chaleur latente, le principe de conservation devient un aspect indispensable de la théorie du calorique. Cela peut se préciser ainsi : progressivement les formes opératoires deviennent l'aspect le plus important du concept, à mesure qu'elles sont effectivement utilisées à l'établissement de lois précises et de méthodes expérimentales rationnelles, alors que l'image naïve du "fluide" avec les pouvoirs d'attraction et de répulsion de ses particules, passe de plus en plus à l'arrière plan, parce qu'elle ne sert à rien.

4) Le calorique peut être soit sensible, soit latent, et dans ce dernier état, il est combiné "chimiquement" avec les particules de la matière pour former le liquide ou la vapeur. On suppose que le calorique "sensible", qui élève la température des corps auxquels il est ajouté, forme une "atmosphère" autour des particules des corps. Au contraire, le calorique "latent" est combiné avec ces particules, de façon analogue aux combinaisons chimiques des particules matérielles elles-mêmes : cette combinaison est supposée former un nouveau composé -le liquide, ou la vapeur- et elle se produit, comme dans les réactions chimiques, dans des proportions définies (chaleur latente) et dans des circonstances définies (température et changement d'état).

5) Enfin, une question reste ouverte : le calorique a (ou n'a pas) un poids appréciable.

Pour terminer cet article, nous devons encore citer un extrait du fondamental "Mémoire sur la chaleur" publié en 1784 sous les signatures conjointes (et illustres) de Lavoisier et Laplace, non seulement parce qu'il expose côte à côte les deux modèles dans leur état d'avancement à cette date, mais aussi parce que leur exposé de la théorie mécanique constitue un progrès essentiel du point de vue du concept de l'énergie, "Les physiciens ne sont pas d'accord sur la chaleur. Plusieurs d'entre eux considèrent la chaleur comme un fluide répandu dans toute la nature, et qui oblige les corps à la conserver suivant leur température et leur capacité. La chaleur peut se combiner avec les corps. Elle cesse alors d'influencer le thermomètre. Elle peut aussi se propager d'un corps à l'autre, c'est l'état de "chaleur libre".

"Les autres physiciens considèrent la chaleur seulement comme le résultat de vibrations imperceptibles des molécules de la matière. Les espaces vides entre les molécules leur permettent de vibrer dans tous les sens. Ce mouvement invisible est la chaleur. Sur la base du principe de conservation de la force vive on peut exprimer ainsi cette définition : la chaleur est la force vive de ces vibrations, c'est-à-dire la somme des produits de la masse de chaque molécule par le carré de la vitesse".

Le caractère génial de cette dernière remarque nous semble résider, non pas en ce qu'elle préfigure très précisément les théories modernes, mais en ce qu'elle fournit une liaison opératoire très explicitement aperçue entre la conservation de l'énergie mécanique (en fait seulement cinétique) et la conservation de la chaleur, préparant ainsi immédiatement la compréhension opératoire de la transformation d'une des formes d'énergie dans l'autre, avec conservation de la quantité d'énergie.

Par ailleurs, Lavoisier et Laplace se refusent à choisir entre ces deux théories. "Peut-être sont-elles toutes deux exactes", avancent-ils. En tous cas, deux lois importantes peuvent être déduites également (et donc expliquées également) par l'une et par l'autre : "D'une part : la quantité de chaleur libre reste toujours la même dans les mélanges simples des corps. D'autre part : lorsque dans une combinaison ou dans un changement d'état disparaît de la chaleur libre, cette dernière apparaît à nouveau à l'état complet lorsque l'état primitif est rétabli, et lorsqu'une augmentation se manifeste, cette dernière disparaît également lorsque l'état primitif est rétabli".

C'est donc bien la propriété opératoire de la conservation qui subsiste comme résultat central de cette discussion, et les théories sur la nature de la chaleur passent à l'arrière plan, comme des systèmes hypothétiques, "métaphysiques" (comme on dira plus tard), qui ont joué leur rôle dans l'édification précise des concepts, mais qu'on peut sans dommage rejeter -ou accepter sur un même plan, comme pouvant être exacte toutes les deux.

C'est pourquoi on a vraiment l'impression de retomber de haut quand on voit à l'époque qui suit immédiatement celle de la publication de ce mémoire, un savant comme Rumford, par ailleurs important, s'acharner pendant douze ans (1787-1799, on notera les dates) à essayer de peser la chaleur avec une précision incroyable, comme si tout l'essentiel de la théorie du calorique résidait dans l'indice le plus "substantiel" -en fait le moins pertinent pour la science- le poids du calorique !

* F. Cajori. On the history of caloric. Isis 1922.