

Contexte: Energie

Du point de vue éducatif, on peut discerner trois aspects qui sont importants pour enseigner l'énergie dans le secondaire inférieur : le concept d'énergie, y compris la conservation de l'énergie, l'énergie renouvelable et l'efficacité énergétique. Le but de ce contexte historique est de fournir une base pour des histoires qui peuvent être utilisées de manière indépendante ou combinée et qui permettent aux professeurs de couvrir ces trois aspects.

L'historien et philosophe de la science Thomas Kuhn montra que l'on peut identifier jusqu'à douze chercheurs qui ont participé à la mise au point du principe de conservation de l'énergie (Kuhn 1959). Un de ces chercheurs, James Prescott Joule, peut être considéré comme personnage central de ce contexte. Ceci parce que Joule est celui qui établit un équivalent mécanique pour la chaleur - du moins selon la notion classique. Cependant, si l'on y regarde de plus près, il devient évident que Joule ne fut pas seul responsable de ces travaux, mais également William Thomson, qui devint plus tard Lord Kelvin. De plus, Joule lui-même ne partit pas de zéro, et en particulier se basa sur les travaux de Benjamin Thompson, le Comte Rumford, qui fit

des recherches sur la chaleur aux alentours de la fin du 18ème et du début du 19ème siècle. En fait, ces chercheurs se focalisaient sur des objectifs plus terre à terre que ceux de Joule. On peut voir la première tentative en direction des énergies renouvelables dans l'œuvre du professeur Français Augustin Mouchot, qui dans les années 1870 fit d'importantes recherches sur l'utilisation de l'énergie solaire pour alimenter les machines industrielles.

Le Comte Rumford et ses travaux sur la chaleur

Les travaux de Rumford sur la chaleur couvrent une grande variété de recherches; Il travailla de façon significative dans ce domaine pendant 25 ans. Sa première recherche sur ce

Fig. 12.

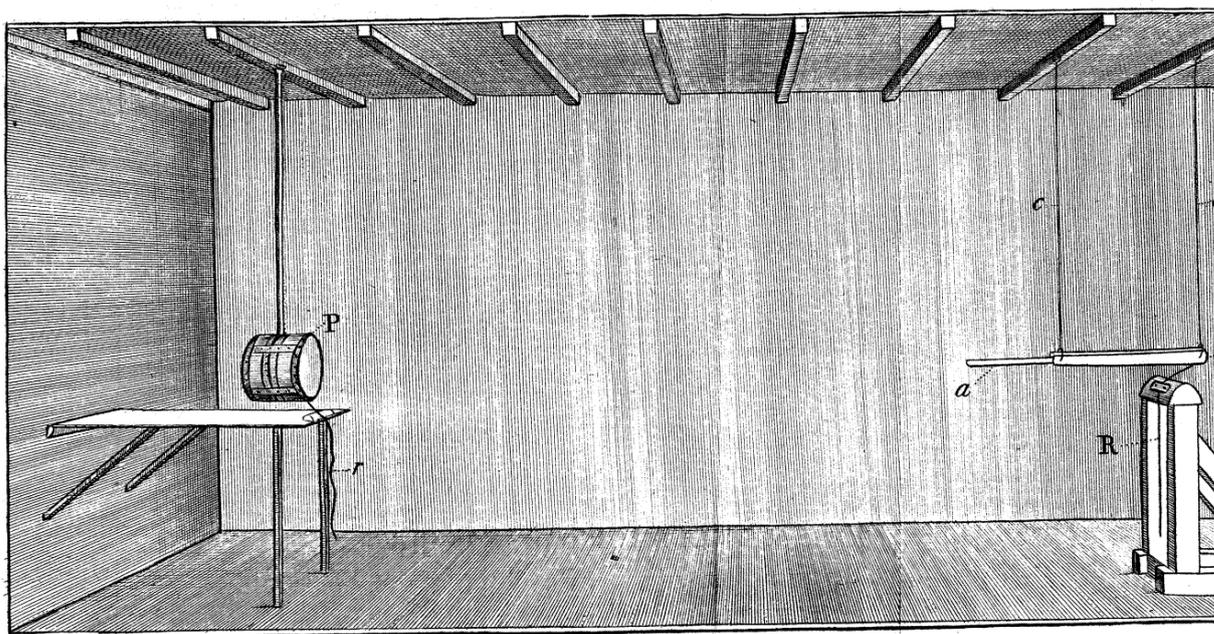


Fig. 1: L'expérience de Rumford sur la poudre à canon (Thompson 1781)

sujet résulta de son contexte militaire: il examinait la qualité de la poudre (Thompson 1781). Pour faire cela, il suspendait le canon ainsi qu'un pendule balistique dont il mesurait l'amplitude de l'oscillation pour indiquer la qualité de la poudre.

Bien que cette première recherche ne soit pas très importante dans le domaine de l'énergie, un détail l'est : Rumford observa que le canon chauffait plus quand il tirait à blanc que quand il tirait une balle. Lorsqu'il était à Munich et qu'il était responsable de la production d'armes, Rumford fit une autre observation qui devint une expérience : durant le processus de forage du canon, le métal chauffait. Pour augmenter la production de chaleur, Rumford utilisa une mèche émoussée, ce qui lui permit de faire bouillir l'eau (d'une masse de 12Kg) initialement prévue pour le refroidissement (Thompson 1798).

En même temps, Rumford démontra que la capacité calorifique des morceaux de métal

produits par le forage ne changeait pas. Rumford conclut de ses expériences que le travail mécanique peut produire de la chaleur en quantité illimitée. Comme la génération spontanée de matière était incompatible avec la théorie établie, il dut en conclure que la chaleur n'était pas une substance mais le mouvement des plus petites particules composant la matière.

Cette conclusion le mit en conflit avec la théorie acceptée la plus récente concernant la chaleur: En 1789, le chimiste Français Antoine Laurent Lavoisier publia son fameux *Traité élémentaire de Chimie* (Lavoisier, 1789). Dans sa monographie, ainsi que dans plusieurs de ses articles de recherche, Lavoisier utilisait le terme calorique. Pour Lavoisier, le fluide calorique était une des "substances de bases appartenant à tous les domaines de la nature, qu'on peut considérer comme les constituants des corps" (Lavoisier 1790, p. 175). Cette substance était supposée sans masse et donc considérée comme l'une des

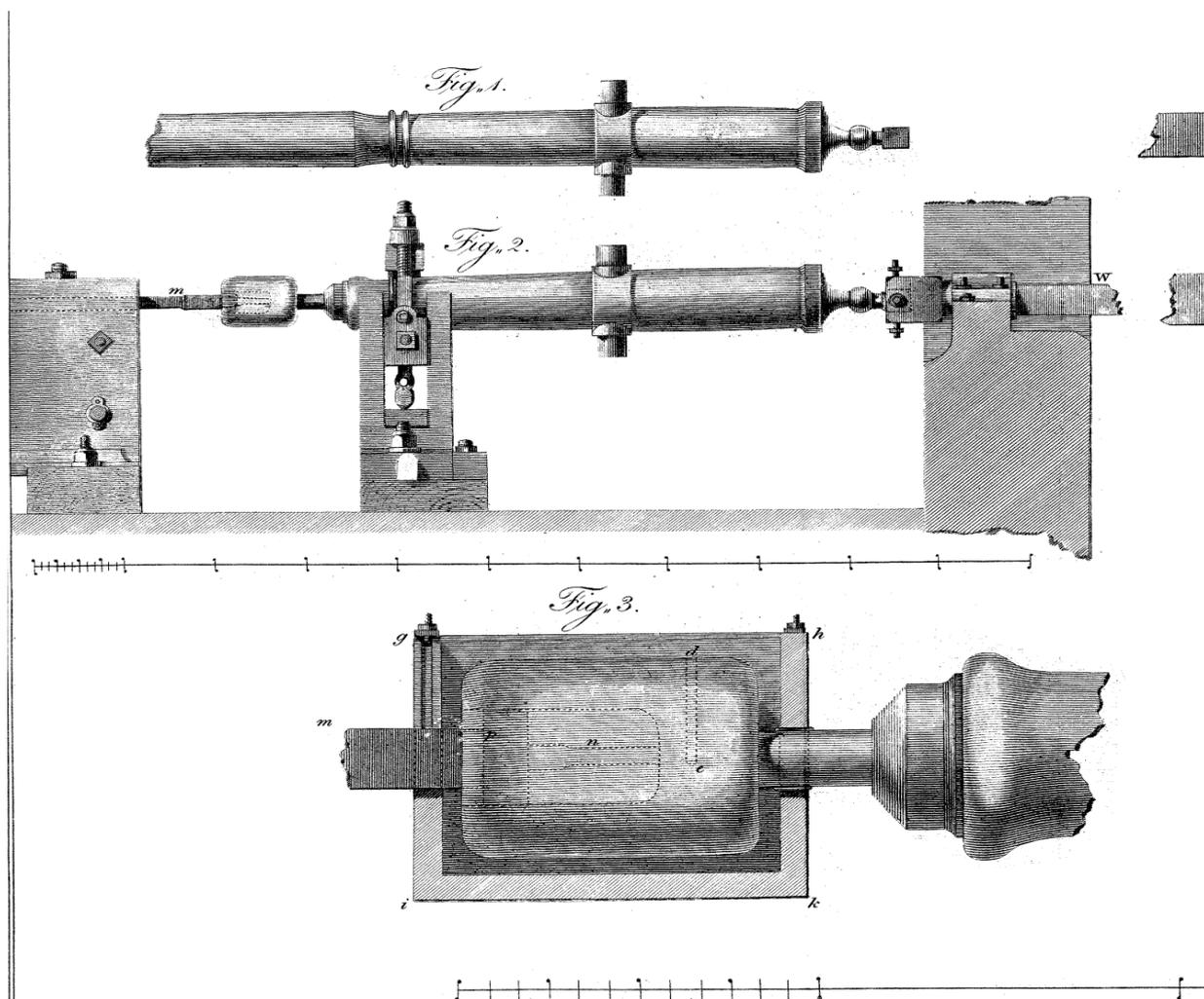


Fig. 2 L'expérience de forage de canon de Rumford (Thompson 1798).

impondérables. Les autres impondérables étaient la matière dont la lumière était faite en plus d'un ou deux fluides électriques et magnétiques. Le fluide calorique était considéré comme l'explication des phénomènes liés à la chaleur. Sur certains points, le fluide calorique ressemblait beaucoup à l'ancien concept de phlogistique, bien qu'il y ait d'importantes différences entre le Système de Lavoisier et celui créé par Becher et Stahl. C'est en rapport avec le nom de celui-ci que le premier instrument servant à mesurer la chaleur fut appelé calorimètre (Roberts 1991, voir également Beretta 2005), le calorimètre à glace.

Retournons donc au travail de Rumford sur la conservation de l'énergie, pour lequel

l'importance du travail de Lavoisier n'est pas d'être la théorie acceptée - et d'ailleurs le travail de Rumford ne changea pas cet état de fait de façon significative, bien au contraire. Dans le premier quart du 19ème siècle, la chaleur était considérée comme une substance matérielle que la plupart des chercheurs identifiaient au fluide calorique de Lavoisier. L'importance du travail de Rumford vient du postulat que les éléments sont indestructibles. Comme le fluide calorique était un des éléments de Lavoisier (bien qu'impondérable, il faisait partie de son Système en temps qu'élément, comme l'oxygène ou le fer), il était clair que cette substance ne pouvait être ni détruite ni créée. C'est ainsi que l'idée de la conservation de l'énergie fut établie par la théorie de la chaleur.

Bien que les expériences de Rumford sur le forage des canons aient un lien direct avec la mise au point de la théorie de la chaleur, deux

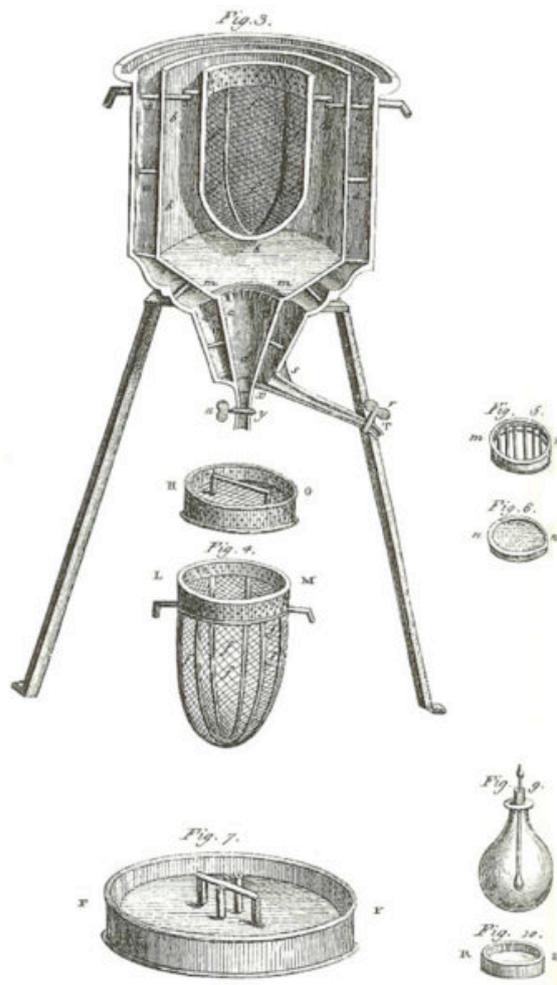


Fig. 3: Le calorimètre à glace de Lavoisier et Laplace (Lavoisier 1789), <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Ice-calorimeter.jpg>

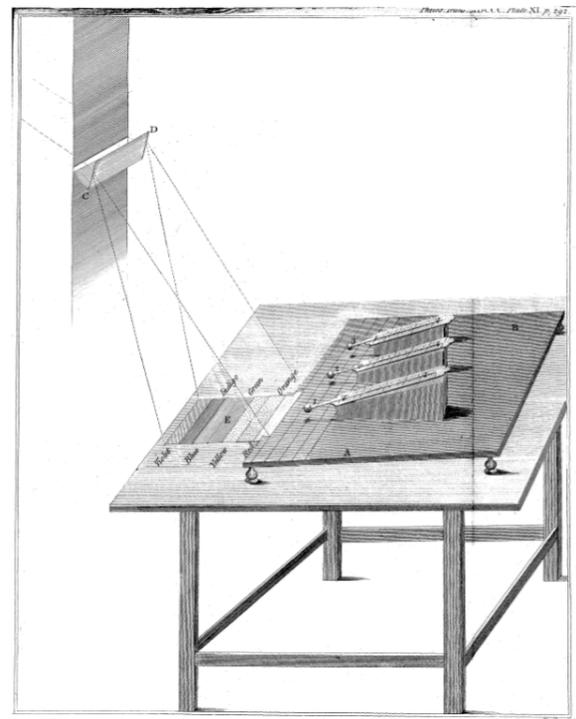


Fig. 4: Le dispositif expérimental de Herschel pour la découverte de la chaleur rayonnante, Herschel 1800.

autres de ses projets de recherche semblent y être liés également. D'un côté, il analysa la chaleur rayonnante. Celle-ci devint un sujet de philosophie naturelle au tout début du 19^{ème} siècle quand William Herschel (qui en dehors de cette recherche est mieux connu pour sa découverte d'Uranus) conclut à la suite d'une série de mesures que le rayonnement solaire n'était pas seulement constitué de lumière, mais contenait également de la chaleur rayonnante, dont l'intensité maximale se trouvait au delà de la partie rouge du spectre lumineux.¹

Ces « nouveaux rayons » devinrent un sujet de recherche pour plusieurs chercheurs, dont notamment John Leslie, qui publia en 1804 une monographie traitant de ce sujet. Cependant, Rumford publia également en 1804 une recherche sur la capacité de divers matériaux à émettre de la chaleur rayonnante.² Bien que cette recherche puisse être considérée comme de la recherche fondamentale, il y a aussi des aspects applicatifs à cette recherche : elle était nécessaire pour améliorer l'efficacité des poêles,

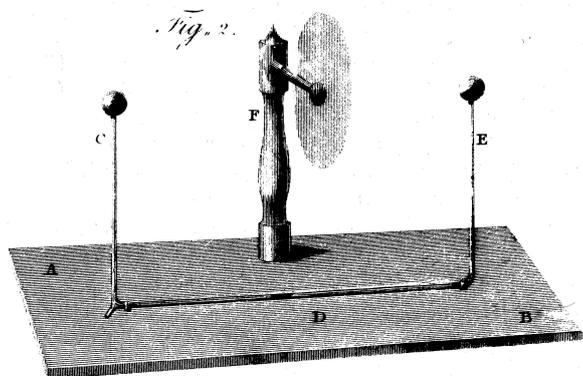


Fig. 5: Le thermoscope de Rumford, Thompson 1804

un sujet qui fut au centre du travail de Rumford pendant des décennies.

Rumford développa un instrument qu'il appela thermoscope. Cet instrument consiste en un

¹ Le contexte de ces expériences était l'idée de trouver quelle partie du spectre (visible) de la lumière pouvait de manière plus significative affecter les lentilles d'un télescope à cause de l'échauffement du verre.

² Voir Leslie (1804) et Thompson (1804), pour une discussion sur ces enquêtes, voir Olson (1970).

tube capillaire en verre en forme de U. Aux deux extrémités du capillaire sont attachées des sphères creuses en verre très fin noirci. A cause de leur couleur noire, les sphères absorbent la chaleur rayonnante, et comme le verre est très fin, la chaleur absorbée est transmise à l'air contenu dans la sphère. Comme le capillaire est fermé, l'augmentation de température cause une augmentation de pression, égale des deux côtés et en proportion de la chaleur rayonnante absorbée.

Au milieu de la partie horizontale du capillaire en verre, on place une goutte d'alcool. Quand la pression est différente dans les deux bras, la goutte se déplace vers le côté où la pression est moins élevée. Du coup, le gaz à plus basse pression est comprimé alors que celui à haute pression se dilate jusqu'à ce que la pression soit égale des deux côtés. Entre les deux sphères, un disque de cuivre est placé, pour que la chaleur provenant d'une source placée dans la longueur de l'appareil ne puisse affecter que l'une des deux sphères.

Le thermoscope est placé sur un cadre en bois. Des deux côtés, des sources de chaleur (des boîtes en métal remplies d'eau chaude) peuvent être placées à une distance variable du thermoscope. Au début de chaque expérience, les deux sources de chaleur sont placées à la même distance. A cause de l'absorption de chaleur rayonnante et de la différence de pression résultante, la goutte d'alcool se déplace. L'expérimentateur augmente la distance entre la source de chaleur la plus forte et le thermoscope, jusqu'à ce que la goutte d'alcool se trouve dans sa position d'équilibre initial, au milieu. En comparant la distance entre les deux sources et le thermoscope, on obtient une indication de leur émission - Rumford était convaincu que la chaleur émise décroissait avec le carré de la distance. Cette formule avait déjà été démontrée par le mathématicien Suisse Johann Heinrich Lambert pour la décroissance de l'intensité lumineuse en

fonction de la distance, un travail avec lequel Rumford était familier à travers ses propres recherches sur la photométrie. La formule de Lambert semblait plausible pour la chaleur rayonnante - d'un côté à cause de ses similarités avec la lumière, d'un autre parce qu'un rayonnement isotrope décroît en proportion de l'inverse du carré de la distance.

Mais la question d'améliorer l'efficacité n'était pas limitée à son travail sur la chaleur rayonnante et les poêles. Une autre recherche qui peut être abordée dans ce contexte est son analyse des propriétés isolantes de différents matériaux. Cette analyse fut réalisée à l'époque où Rumford était ministre de la guerre à Munich, et était de

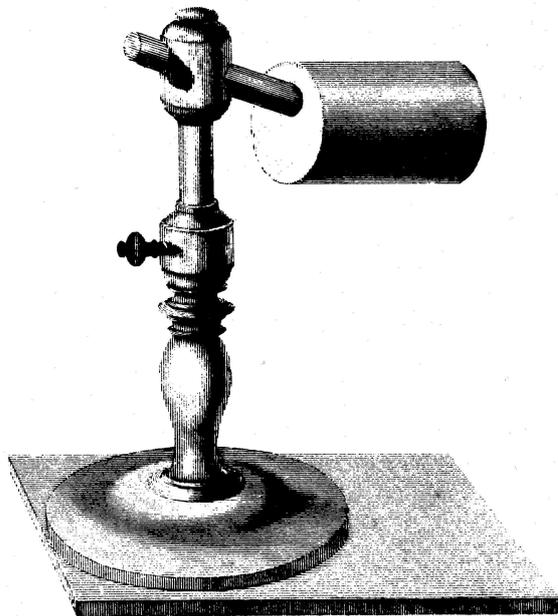


Fig. 6: Le radiateur de chaleur de Rumford, Thompson 1804.

manière plus globale liée à un sujet militaire. Le but était de développer les bases scientifiques pour déterminer le matériau le plus adapté pour l'uniforme des soldats Bavares qui idéalement recevraient un seul type d'uniforme adapté autant à l'été qu'à l'hiver. Comme pour l'expérience analysant la chaleur rayonnante, Rumford utilisa des boîtes en métal comme sources de chaleur. Ces boîtes étaient

recouvertes de différents tissus, étaient remplies d'eau chaude, et Rumford observait la décroissance de la température de l'eau. En faisant cela, il put déterminer la manière la plus efficace d'isoler le corps humain.

En résumé, Rumford peut être en rétrospective identifié comme le point de départ de plusieurs développements dans la science de l'énergie, parce qu'il réalisa des expériences en rapport avec le principe de conservation de l'énergie, ainsi que dans un domaine qu'on appellerait aujourd'hui "efficacité énergétique", en particulier sur la question des matériaux.

La formulation du principe de conservation de l'énergie

Joule commença ses recherches par l'analyse de moteurs électriques.³ Ceci était directement lié à son travail dans la brasserie de son père. Celle-ci utilisait des moteurs à vapeur, et après le développement du moteur électrique, le potentiel de celui-ci semblait supérieur. Du coup, le but de Joule semble avoir été de construire un moteur électromagnétique économique. Ceci peut être déduit de la phrase suivante: "Je ne doute pas que l'électromagnétisme finira par remplacer la vapeur pour actionner les machines. ...l'économie (d'un moteur) sera liée directement à la quantité d'électricité, et les coûts d'utilisation du moteur peuvent être réduits ad infinitum" (Joule 1884, p. 14). Cette idée d'un « mouvement perpétuel économique » ne se retrouve pas que dans les écrits de Joule car beaucoup de scientifiques de son époque partageaient cette opinion.⁴ Joule finit par conclure (comme les autres savants) que le zinc qui réagit dans l'élément galvanique (la pile) est plus cher que le

³ Au sujet de l'histoire du début des moteurs électriques, voir en particulier Schiffer (2008).

⁴ Il ne faut pas confondre ceci avec un mobile perpétuel scientifique comme ça a été fait par exemple par Breger: "Il est clair que Joule n'a pas d'objection à un mobile perpétuel à ce moment-là; Il est clair qu'il pense qu'une source de puissance inexhaustible est possible" (Breger 1982, p.194).

combustible qui alimente un moteur à vapeur équivalent.

Durant les années qui suivirent, le sujet de recherche de Joule était la production de chaleur, soit par électricité voltaïque via des piles, soit par des combustions chimiques; ces recherches étaient quantitatives. Après avoir terminé ces recherches, Joule se tourna vers un autre sujet : en 1843, à l'occasion de la réunion de l'Association Britannique pour l'Avancement de la Science, Joule présenta un article qui serait à la base de son prestige ultérieur. Il décrit le sujet de ses recherches en annonçant qu' "ayant prouvé que de la chaleur est produite par la machine magnéto-électrique et qu'à l'aide du pouvoir inductif du magnétisme l'on peut diminuer ou augmenter à discrétion la chaleur due aux changements chimiques, il devint très intéressant de savoir s'il existe un rapport constant entre cette chaleur et la puissance mécanique gagnée ou perdue" (Joule 1884, p. 149). Joule effectua de nouvelles expériences pour démontrer l'existence d'un équivalent mécanique à la chaleur, et pour déterminer sa valeur numérique. D'une première série d'expériences, il fixa ce coefficient à 838 ftlb/BTU, soit 4.506 Joule/cal⁵, et d'une deuxième série publiée dans le même article, à 770 ftlb/BTU, soit 4.14 J/cal.

Un coup d'œil aux données publiées par Joule nous donne une idée du contexte théorique de Joule. Les équivalents qu'il calcula avec les donnés dans son article étaient (en ftlb/BTU): 896; 1001; 1040; 910; **1026; 587**; 742 (moyenne de 5 expériences); 860 (moyenne de 2 expériences); 770. Les deux mesures en gras proviennent d'expériences "exécutées exactement de la même manière" (Joule 1884, p. 153). Il semble pour le moins osé d'utiliser ces données comme preuve de l'existence d'un équivalent, en d'autres termes, Joule devait croire

à l'existence d'un tel équivalent mécanique de la chaleur pour extraire ce résultat de telles données. Ces mêmes données auraient également pu être interprétées comme indication que la quantité de chaleur produite par le même travail mécanique peut fortement varier, en fonction d'un paramètre inconnu ou du moins incertain. Malgré cela, Joule parvint à la conclusion qu'il y existe un équivalent mécanique à la chaleur, et que la divergence des mesures est causée par l'imprécision de mesure de ses expériences: "J'admets qu'il y a une différence considérable entre certains des résultats, mais je ne pense pas qu'elle soit plus importante que celle attribuable avec raison à de simples erreurs d'expérimentation" (Joule 1884, p. 156).

Bien que Joule se soit rendu compte des différences entre ses mesures, il affirma avoir prouvé l'existence d'un équivalent mécanique de la chaleur. On peut donc supposer qu'il croyait à l'existence de cet équivalent pour d'autres raisons que ses mesures expérimentales. Vers la fin de sa recherche sur ce sujet, Joule lui-même révèle ces raisons en déclarant qu'il était "satisfait que les principaux agents naturels étaient, par ordre de leur Créateur, indestructibles; et que peu importe la force mécanique dépensée, un équivalent exact de chaleur était toujours obtenu" (Joule 1884, p. 158). Cette affirmation nous donne une idée du contexte théorique que Joule avait à l'esprit en essayant de déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur.

Dans la vision de la nature de Joule, il était impossible que quoique ce soit puisse être détruit ou créé. Il incarnait l'idée de la conservation de telle sorte qu'il lui était impossible d'accepter la moindre exception à ce principe. Mais il semblait y avoir quelques exceptions cependant, comme par exemple la génération de chaleur par la machine magnéto-électrique. Dès lors, Joule dut développer une nouvelle idée, celle de transformations équivalentes de ce qu'il appelait agents naturels. Cette idée de la convertibilité

⁵ Unités utilisées : foot-pound/British thermal unit

équivalente fut le grand pas conceptuel qui permit de passer du principe de conservation de la chaleur (sous forme de fluide calorique) de Lavoisier au principe de conservation de l'énergie.

L'article que Joule présenta en 1843 n'eut pas beaucoup de succès dans le monde scientifique. Dans les années qui suivirent, Joule présenta plusieurs articles dans lesquels il décrivait diverses expériences qu'il avait effectuées pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur avec plus de précision. Deux de ces articles sont notables pour des raisons complètement différentes. L'un d'eux fut publié dans les *Philosophical Transactions* de 1850, sous le titre de "De l'Equivalent Mécanique de la Chaleur". Dans cet article, Joule décrivait en détail ses expériences avec la fameuse roue à aubes. Cet article ne contenait pas seulement les résultats de l'expérience de Joule, et les calculs de l'équivalent mécanique, mais également une description détaillée du dispositif expérimental. De plus, Joule y décrivait ses expériences sur le frottement du mercure et de la fonte. D'une certaine manière, la publication de cet article dans le prestigieux journal "*Philosophical Transactions* peut être interprété comme une bonne indication de l'acceptation du travail de Joule par la communauté scientifique britannique.

C'est au congrès annuel de la British Society que Joule présenta son autre article marquant. Comme son biographe D. Cardwell le fit remarquer: "Joule pensait que cet article serait

passé inaperçu si un jeune homme à l'arrière de la salle ne s'était levé pour poser des questions pointues qui firent de cet article un sujet de discussion animées"(Cardwell 1989, p. 83). Ce jeune homme était William Thomson, qui devint plus tard Lord Kelvin. Il fut l'un des premiers scientifiques vraiment influents, et l'un des premiers à s'intéresser aux résultats de Joule. Bien qu'il ne fût pas d'accord avec les idées de Joule au départ, il finit par être convaincu et, en plus de soutenir la théorie de Joule, entreprit une collaboration avec lui qui fut couronnée de succès.

Thomson était sceptique des revendications expérimentales de Joule car il avait reçu une partie de son éducation en France, où il s'était familiarisé avec le travail de Victor Regnault et de Sadi Carnot. Ce dernier avait démontré que le travail d'un moteur à vapeur dépendait de la différence de température, et qu'il n'était donc pas dépendant d'une quantité spécifique de chaleur. Ce ne fut que lorsque le concept d'énergie et de dissipation d'énergie (et du coup d'entropie) fut développé que les conclusions de Joule et de Carnot ne furent plus en contradiction. D'une certaine manière, cette contradiction ainsi que l'acceptation croissante du concept d'énergie permirent le développement de celui-ci. Ce ne fut qu'à travers sa collaboration avec Joule que Thomson fut convaincu que les résultats de Joule étaient corrects et importants, suite à quoi il soutint Joule dans la communauté scientifique.

Cet aspect est important au niveau de l'acceptation du travail de Joule dans la communauté scientifique britannique : ses découvertes furent probablement ignorées en partie parce que Joule était un brasseur de Manchester. Bien que cela s'avéra crucial pour les ressources expérimentales de Joule (dont on parlera plus tard), cela posa également problème. Même si les difficultés conceptuelles jouèrent un rôle, c'est également le statut de Joule qui fut important. Il n'était pas scientifique de formation mais plutôt « gentilhomme de science » sans CV ou position scientifique. Bien que ce statut ait été la norme au 18^{ème} et au début du 19^{ème}, vers le milieu du siècle la situation avait changé. La science était de plus en plus professionnalisée en Grande Bretagne, et ceci impliquait une limitation de la science aux seuls scientifiques de profession. Il y avait bien sûr des exceptions, notamment Michael Faraday, cependant lorsque Joule commença à publier sur l'équivalent mécanique de la chaleur, son statut social posa un réel problème. D'un autre côté, William Thomson avait reçu une bonne éducation, était jeune professeur à l'Université de Glasgow et, malgré son âge, déjà bien établi dans les cercles scientifiques. Du coup, ce ne fut pas simplement

Thomson qui soutint le travail de Joule, mais également les scientifiques du même statut. En conséquence, le soutien de Thomson contribua à la reconnaissance du travail de Joule.

Mais ce n'est pas la question du statut social qui est intéressante dans le travail de Joule : ses expériences sont également remarquables. Pour ne donner qu'une brève description de l'expérience: la Figure 7 est une vue en perspective du dispositif expérimental que Joule inclut dans son article

aa sont des poulies en bois d' 1 pied de diamètre et de 2 pouces d'épaisseur, avec des rouleaux en bois, bb, bb, de 2 pouces de diamètre, et des axes en acier, cc, cc, d'un quart de pouce de diamètre. Les poulies ont été conçues pour être totalement identiques.

Les essieux reposent sur des roues de frottement en laiton. dddd, dddd, les essieux desquelles travaillaient dans des trous percés dans les plaques en laiton attachées à une table en bois solide, que Joule fixa au mur de son laboratoire.

Les poids e,e étaient suspendus par de la ficelle aux rouleaux bb,bb; et de la ficelle fine attachée aux poulies aa les reliait au rouleau central f, qui à l'aide d'un goupille, pouvait

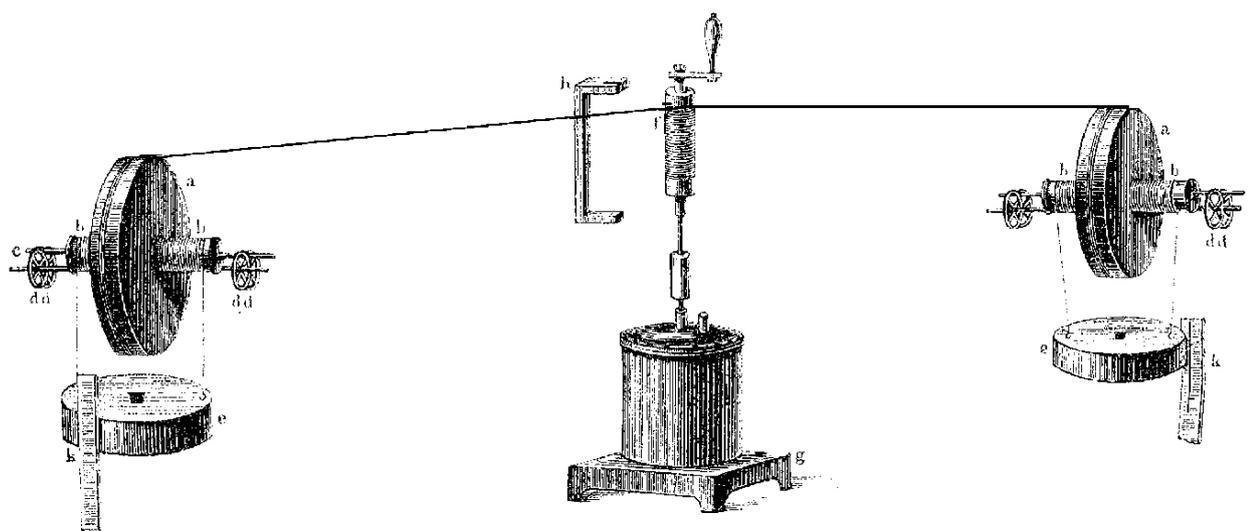


Fig 7: Le dispositif à roue à aubes de Joule. Joule 1872

facilement être attaché ou détaché de l'axe de l'appareil à friction.

Cet appareil est représenté en coupe verticale sur la Figure 8 ci-dessous, et en coupe horizontale sur la Figure 9 ci-contre. Il comprenait une roue à aubes en laiton équipée de 8 jeux de 4 bras et de 4 jeux de 4 aubes fixes chacun. L'axe en laiton était en roue libre et était divisé en deux parties au niveau de d pour éviter toute conduction de chaleur dans cette direction. La roue à aubes se logeait avec précision dans un cylindre de cuivre

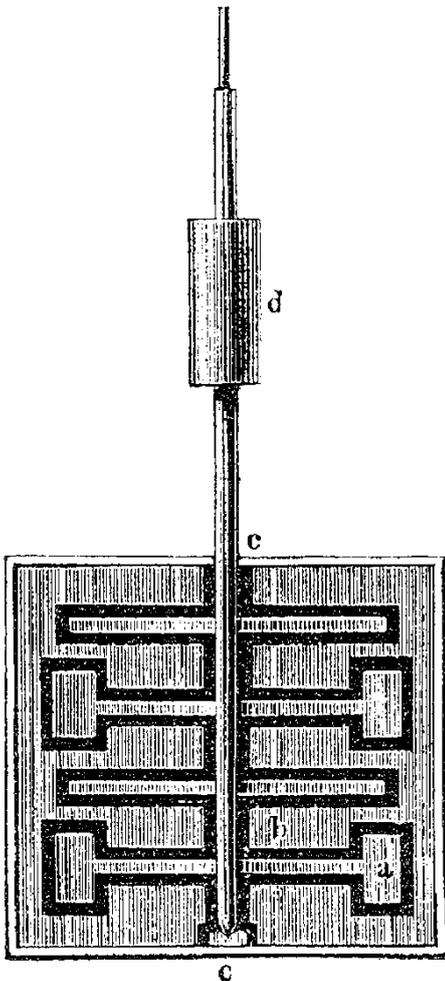


Figure 8: Roue à aubes de Joule, coupe latérale. Joule 1872

dont le couvercle était percé de deux trous, un pour l'axe et un pour un thermomètre. Pendant l'expérience, un grand écran en bois était ajouté pour éviter tout rayonnement de chaleur provenant de l'expérimentateur.

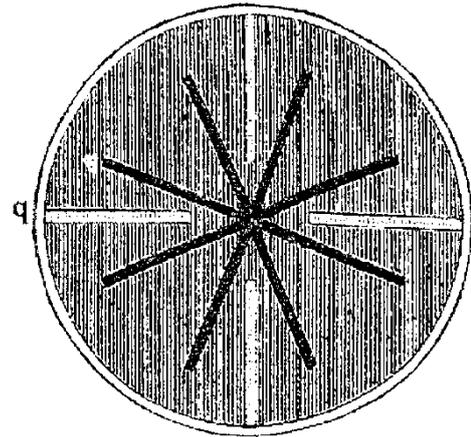


Figure 9: Roue à aubes de Joule, coupe horizontale. Joule 1872

Au début de l'expérience, le cylindre est rempli d'environ 6 litres d'eau. Lorsque tout est à l'équilibre thermique, la température de l'eau ainsi que celle de la pièce sont mesurées, et le thermomètre est retiré du cylindre. Ensuite des poids d'un total de 26Kg sont remontés d'environ un mètre et puis relâchés, ce qui fait tourner la roue à aubes qui agite l'eau. Cette procédure est répétée vingt fois, ce qui prend environ 35 minutes. A la fin, selon les données de Joule, on peut mesurer une augmentation de la température de l'eau de 0.5°C.

L'analyse de cette expérience révèle des détails importants et qui montrent que Joule se trouvait dans une situation extraordinaire : Joule eut la possibilité d'employer les meilleurs artisans disponibles dans une ville industrielle comme Manchester. Le fabricant d'instruments - John Benjamin Dancer - était très doué et particulièrement capable de créer des thermomètres extrêmement sensibles. Leur sensibilité était extraordinaire: "Les deux thermomètres qu'il (Joule) avait acquis en 1844, étaient d'après lui les premiers thermomètres calibrés avec précision de Grande Bretagne... ." (Cardwell 1989, p. 234) Le thermomètre qui fut utilisé pour déterminer la température de l'eau mesurait 87cm et allait de 0°C (32°F) à 85°F (voir Ashworth 1930). Joule écrivait que "la pratique

constante me permettait de lire la température à l'oeil nu avec une précision d' 1/20ème de division, et d'observer des températures avec une précision d' 1/200ème de degré Fahr." (Joule 1884, p. 303). A un tel degré de sensibilité, l'eau est loin d'être à une température constante. Du coup, la procédure pour déterminer cette température est loin d'être facile. Plutôt que d'attendre que la colonne de mercure du thermomètre se stabilise avant de lire la température, Joule dut trouver d'autres moyens pour déterminer quand le thermomètre et l'eau étaient en équilibre thermique. Comme Sibus le démontra, mesurer la température faisait partie de la culture des brasseurs, et Joule avait donc la compétence nécessaire pour faire les mesures grâce à son contexte professionnel.

Il y a d'autres aspects qui indiquent que cette expérience était infusée de la culture de brasseurs : Joule utilisa un récipient en cuivre sans isolation, alors que la pièce ne devait pas trop affecter la température de l'eau. Cela peut sembler un peu anormal, surtout quand on prend en considération le fait que Joule utilisait en fait un écran en bois pour protéger le cylindre de la chaleur émanant de l'expérimentateur. Cependant, le cylindre en cuivre est un équipement souvent utilisé dans le brassage de la bière, et Joule était donc très habilité à contrôler la situation thermique d'un tel cylindre - un cylindre isolé (de façon imparfaite) n'était pas un équipement aussi familier pour Joule.

Mais il y a également d'autres aspects matériels de la brasserie de Manchester qui permirent à Joule de réussir son expérience. D'un côté, Joule avait besoin d'une pièce avec une capacité thermique gigantesque - sinon la chaleur produite par le corps humain remontant les poids affecterait fortement la température de la pièce et donc le résultat de l'expérience. Il existe une telle pièce dans une brasserie: la cave dans laquelle la bière est rangée. Celle-ci a une capacité thermique gigantesque et donc une

température quasi uniforme, en d'autres mots la pièce qui possède les propriétés physiques nécessaires à la production de mesures fiables. De l'autre côté, Joule pouvait profiter de l'aide d'un assistant de brasserie pour effectuer le travail de remontée des poids. Ceci demandait des capacités spécifiques car le poids est lourd, et il faut être rapide et mesuré à la fois pour faire ce travail. Joule lui-même n'avait pas la condition physique pour faire un tel travail, et de plus, il était un gentilhomme et un tel travail ne correspondrait pas à son statut social.⁶

Le début de la recherche sur les énergies renouvelables

Au milieu du dix-neuvième siècle, l'industrialisation progressa très rapidement, entraînant avec elle une forte demande de combustibles pour les machines à vapeur, sources principales d'énergie dans les usines. Pour la France, cela commençait à devenir un problème majeur car les gisements de charbon, limités, étaient presque épuisés. Ceci était d'autant plus problématique que les importations potentielles pouvaient seulement venir d'Angleterre, l'éternel rival économique de la France. Le gouvernement français promit dès lors une aide financière à tout chercheur qui proposerait des idées novatrices afin d'éviter à la France de devoir dépendre du charbon anglais.

C'est là qu'un professeur français d'école secondaire, Augustin Mouchot, entra en scène. Mouchot combina deux appareils déjà connus auparavant : un cylindre creux noirci contenant de l'eau, similaire à un appareil qui avait été utilisé à la fin du dix-huitième siècle par Horace Bénédicte de Saussure pour faire des expériences sur la propagation de la chaleur. Ce premier appareil était combiné avec un miroir creux utilisé

⁶ De la même manière, Joule ne mentionna pas la personne qui effectuait le travail physique pour les expériences qu'il effectua plus tard et qui menèrent à ce qui est aujourd'hui connu comme l'effet Joule-Thomson (voir Sichau 2000).

pour focaliser le rayonnement solaire sur le cylindre. En 1861, Mouchot était déjà capable de produire de la vapeur grâce à son appareil. Dans les années suivantes, il prévoyait d'améliorer son installation afin de la rendre plus utile d'un point de vue pratique. Ses tentatives étaient soutenues par un financement du gouvernement français.

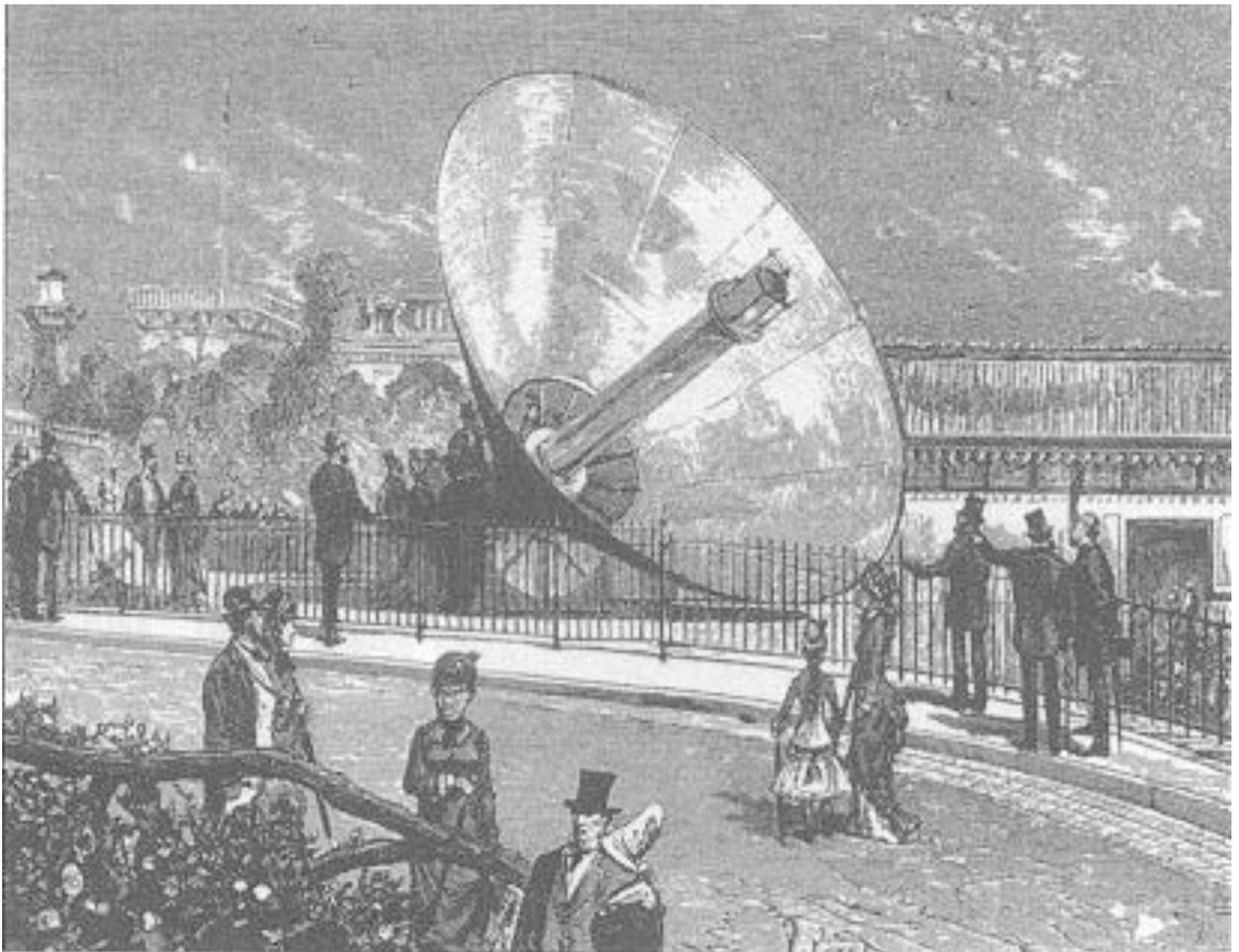
Ces recherches aboutirent à deux résultats directs : d'une part, Mouchot fut en mesure développer des appareils de cuisson à énergie solaire – des objets qui furent surtout utilisés par l'armée française dans les colonies nord-africaines. Ces appareils permettaient aux soldats de préparer des repas chauds sans faire de fumée, un détail crucial d'un point de vue militaire. Ces cuiseurs furent utilisés jusqu'au vingtième siècle.

D'autre part, Mouchot conçut un moteur à vapeur fonctionnant grâce la vapeur produite par

son appareil solaire. Il créa plusieurs moteurs semblables dont le dernier fut présenté à l'exposition universelle de Paris en 1878. Le moteur, dont le miroir conique avait un diamètre d'environ cinq mètres, pouvait être utilisé comme machine à imprimer et pouvait aussi produire de la glace.

Mouchot reçut une médaille d'or pour cette machine. Malheureusement, pendant ce temps, la situation avait changé une fois de plus. Un problème majeur de la machine de Mouchot restait le miroir qui nécessitait un nettoyage régulier. En effet, celui-ci était recouvert d'une couche d'argent qui avait tendance à s'oxyder, réduisant alors l'efficacité de la machine.

C'est cependant un autre développement qui se révéla déterminant pour le destin de l'invention de Mouchot : les mineurs avaient trouvé de nouveaux gisements de charbon en



France de l'Est. Dès lors, le besoin de trouver une source d'énergie alternative pour les moteurs à vapeur n'existait plus. De plus, un rapport qualifia la machine de Mouchot d'économiquement peu rentable. En réponse à cela, le gouvernement français cessa de supporter financièrement les recherches de Mouchot, ce qui mit fin à son travail.

Références

- Ashworth JR (1930): Joule's Thermometers in the Possession of the Manchester Literary and Philosophical Society (Journal of Scientific Instruments Vol 7, No. 11, London) pp 361 - 363.
- Ashworth JR (1931): A List of Apparatus now in Manchester which belonged to Dr. J.P. Joule, F.R.S., with Remarks on his M.S.S., Letters, and Autobiography. In: Manchester Memoirs Vol 75, No 8, 105.
- Beretta M. H. (2005). Lavoisier in Perspective. München, Deutsches Museum.
- Breger H (1982). Die Natur als arbeitende Maschine.
- Brown SC (1979): Benjamin Thomson, Count Rumford (MIT Press, Cambridge, Mass., London).
- Goldfarb SG (1977) Rumford's Theory of Heat: A Reassessment. In: British Journal for the History of Science Band 10:S. 25 - 36.
- Heering P (1992) On J.P. Joule's Determination of the Mechanical Equivalent of Heat. In: Hills, Skip (Ed.): The History and Philosophy of Science in Science Education Vol.1, Kingston, Ontario), pp 495-505.
- Herschel, W. (1800). Experiments on the Refrangibility of the invisible Rays of the Sun. Philosophical Transactions of the Royal Society 90, 284-292.
- Joule JP (1850): On the Mechanical Equivalent of Heat. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 140, 61-82. Reprinted in Joule JP (1884): The Scientific Papers.
- Joule, JP (1872). Das mechanische Wärmeäquivalent. Braunschweig, Vieweg.
- Kuhn, TS (1959): Energy conservation as an example of simultaneous discovery. In: M. Clagett (ed.): Critical Problems in the History of Science. University of Wisconsin Press, Madison, 321 - 356.
- Leslie, J. (1804): An experimental inquiry into the nature and propagation of heat. London, Printed for J. Mawman.
- Mouchot, Augustin (1869), La chaleur solaire et ses applications industrielles. Paris.
- Olson RG (1970) Count Rumford, Sir John Leslie, and the Study of the Nature and Propagation of Heat at the Beginning of the Nineteenth Century. In: Annals of Science Band 26: 273 - 304.
- Roberts L. (1991). A Word and the World: –The Significance of Naming the Calorimeter. ISIS 82: 198 - 222.
- Schiffer MB (2008): Power struggles: scientific authority and the creation of practical electricity before Edison. Cambridge, Mass., The MIT Press.
- Sibum HO (1995): Reworking the Mechanical Value of Heat: Instruments of Precision and Gestures of Accuracy in Early Victorian England. Studies in the History and Philosophy of Science 26, 73 - 106.
- Sichau C (2000): Die Joule-Thomson-Experimente: Anmerkungen zur Materialität eines Experiments. In: NTM 8:223-243.
- Smith C & Wise MN (1989): Energy and Empire: –A biographical study of Lord Kelvin (Cambridge University Press, Cambridge - New York - Port Chester - Melbourne – Sydney
- Thompson, B (1781): New Experiments upon Gun-Powder, with Occasional Observations and Practical Inferences; To Which are Added, an Account of a New Method of Determining the Velocities of All Kinds of Military Projectiles, and the Description of a Very Accurate Eprouvette for Gun-Powder. In: Philosophical Transactions of the Royal Society of London 71, 229-328
- Thompson, B. (1798). "An Inquiry concerning the Source of the Heat Which is Excited by Friction. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 88: 80-102.
- Thompson, B (1804): An Enquiry concerning the Nature of Heat, and the Mode of Its Communication. In: Philosophical Transactions of the Royal Society of London 94, 77-182.
- La traduction a été effectuée par Ludovic Urbain et revue par Xavier Urbain

Background for stories concerning energy was written by Peter Heering with the support the European Commission (project 518094-LLP-1-2011-1-GR-COMENIUS-CMP) and Flensburg University, Germany. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be

