

ANNALES SCIENTIFIQUES DE L'É.N.S.

J. VIOLLE

Sur la température du Soleil (réponse à M. Soret)

Annales scientifiques de l'É.N.S. 2^e série, tome 4 (1875), p. 363-370

http://www.numdam.org/item?id=ASENS_1875_2_4__363_0

© Gauthier-Villars (Éditions scientifiques et médicales Elsevier), 1875, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Annales scientifiques de l'É.N.S. » (<http://www.elsevier.com/locate/ansens>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

SUR

LA TEMPÉRATURE DU SOLEIL,

PAR M. J. VIOLLE,

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE GRENOBLE.

(Réponse à M. SORET.)

Le dernier numéro des *Annales de l'École Normale supérieure* contient une Lettre de M. Soret, dans laquelle ce savant physicien, jugeant mes expériences avec une courtoisie et une bienveillance dont je tiens tout particulièrement à le remercier, doute cependant « que, dans l'état actuel de la Science, elles puissent conduire à la détermination de la température du Soleil ». En effet, dit-il, « pour pouvoir déduire de ces observations la température du Soleil, il faudrait avant tout connaître la loi du rayonnement de la chaleur à des températures élevées. On a tantôt admis la loi de Newton, tantôt celle de Dulong et Petit; or ni l'une ni l'autre ne sont exactes pour les hautes températures ».

Peut-être M. Soret est-il ici trop affirmatif. Sur la loi de Newton appliquée à de grands excès de température, je passe d'autant plus volontiers condamnation qu'aucun physicien assurément ne réclamera en sa faveur; il serait même injuste aujourd'hui d'adresser quelque critique à cet égard au P. Secchi, car, s'il est d'abord tombé dans une erreur qui peut paraître singulière après les travaux mémorables de Dulong et Petit, il a été depuis le premier à la reconnaître; mais, pour ce qui concerne la loi de Dulong et Petit, je ne pense pas que l'on puisse la condamner aussi facilement. Sans parler, en effet, des raisons théoriques qui militent en faveur de la forme exponentielle pour représenter l'intensité d'une radiation calorifique, et pour ne m'adresser qu'à l'expérience, je trouve en faveur de la loi de Dulong et Petit de puissants arguments. « En réalité le rayonnement d'une source à température

quelconque peut sans doute être représenté par une somme d'exponentielles analogues à celle qui suffit pour représenter approximativement les échanges de chaleur des corps noirs aux températures basses ; ces exponentielles seraient d'ailleurs multipliées chacune par un coefficient particulier. Pour celles qui représentent les rayons dominant aux températures basses, les coefficients seraient plus forts, et la base de l'exponentielle serait moindre que pour les autres. » (DESAINS, *Leçons de Physique*, t. II, p. 707.) D'après ces conclusions, résumant les travaux des deux savants qui ont soumis la loi de Dulong et Petit à une étude de révision si scrupuleuse, on voit que, pour un rayonnement complexe comme celui du Soleil, l'intensité de la radiation peut s'exprimer par une somme de termes de la forme

$$m\alpha^t + m'\alpha'^t + m''\alpha''^t + \dots,$$

et, si les coefficients α , α' , α'' ,... étaient identiques, cette somme se réduirait à

$$(m + m' + m'' + \dots)\alpha^t \quad \text{ou} \quad M\alpha^t,$$

M désignant un certain coefficient qui serait précisément le pouvoir émissif du Soleil à la température qu'il possède actuellement.

Mais est-il permis, dans une première approximation, de supposer ainsi $\alpha = \alpha' = \alpha'' = \dots$? C'est, il me semble, l'hypothèse la plus plausible, jusqu'à ce que l'on possède des mesures exactes de ces quantités α , α' , α'' ,... Et, en effet, les expériences de MM. de la Provostaye et Desains nous montrent que la quantité m est à peu près constante entre zéro et 300 degrés lorsque le corps rayonnant est un thermomètre à boule nue ou noircie au noir de fumée, mais que, si la boule du thermomètre est couverte d'une feuille d'argent, m augmente quand la température décroît, de sorte que l'on a

A 63 degrés.....	$m = 0,01090,$
A 150 »	$m = 0,00870,$

tandis que α reste constant et le même dans les deux cas. Ainsi, malgré la différence des pouvoirs émissifs de l'argent et du noir de fumée, malgré même la variation rapide du pouvoir émissif de l'argent, la base de l'exponentielle reste la même pour les diverses radiations venant se

superposer aux radiations primitives au fur et à mesure que la température s'élève. Et, bien que ces expériences se rapportent à des circonstances dans lesquelles la chaleur semble beaucoup plus homogène que quand elle émane de sources à températures élevées, cependant l'augmentation parfaitement nette de m nous prouve une modification sensible de la qualité, ou, si l'on aime mieux, de la composition de la chaleur émise. Cette modification n'ayant amené aucun changement dans la valeur de α , on peut admettre que α est sensiblement le même pour toutes les radiations. Mes expériences sur l'acier et la fonte en fusion, c'est-à-dire à 1500 et 1300 degrés, conduisent d'ailleurs à la même conclusion, comme on le verra plus bas. Cette constance de α n'est sans doute pas établie ainsi d'une manière absolument rigoureuse; mais, d'une part, les expériences que je viens de citer montrent qu'en l'admettant on ne saurait être bien éloigné de la vérité; d'autre part, l'hypothèse de α constant à toute température conduit à une évaluation de la température du Soleil plus élevée que celle qui résulterait de la considération d'une somme d'exponentielles à bases croissantes pour les radiations les plus chaudes, comme le propose M. Desains : la correction qui pourrait résulter de cette considération ne modifierait donc pas le nombre que j'ai proposé pour la température du Soleil dans le sens où M. Soret désirerait me le voir corriger. Aussi M. Soret serait-il disposé à regarder α comme décroissant au fur et à mesure que la température s'élève; mais cette manière de voir, qui repose sur l'hypothèse de m constant, ne saurait être admise.

J'ai fait l'année dernière, aux forges d'Allevard, quelques expériences dans le double but de vérifier si une source de chaleur terrestre donnerait avec mon appareil un effet comparable à celui que produit le Soleil et d'obtenir une évaluation probable de la température vraie du Soleil. Ces expériences, qui ne sont qu'indiquées dans la Note que j'ai publiée aux *Comptes rendus* du 5 octobre 1874, sont exposées en détail dans le Mémoire que M. Henri Sainte-Claire Deville a bien voulu présenter en mon nom à l'Académie des Sciences, et qui contient l'ensemble de mes recherches sur la température du Soleil; je n'en relaterai aujourd'hui que la portion touchant directement au point en litige.

Si je rapporte ici ces observations, ce n'est point que je conteste l'exactitude des expériences de M. Soret ou du P. Secchi sur des com-

paraissent rendre bien difficile la discussion de leurs résultats numériques ⁽²⁾. Je ne rappellerai pas comment j'ai essayé d'écartier toutes ces difficultés ⁽³⁾, en adoptant pour mon actinomètre une forme et des dimensions plus convenables et en suivant dans la marche des expériences, d'aussi près que je l'ai pu, les leçons que renferme l'admirable Mémoire de Dulong et Petit sur le refroidissement. J'observerai seulement que, dans les recherches actuelles sur la radiation de l'acier ou de la fonte en fusion, la durée de l'expérience étant nécessairement limitée par la durée même de la coulée, j'ai dû opérer par la méthode dynamique, c'est-à-dire que, tout en employant mon actinomètre, je m'en suis servi comme d'un pyrhéliomètre de Pouillet, ce qui conduit d'ailleurs exactement aux mêmes résultats que l'emploi de la méthode statique, ainsi que je m'en suis assuré par des expériences comparatives faites sur la radiation solaire par l'une et l'autre méthode. Si, d'autre part, j'ai choisi comme source de chaleur terrestre une coulée de fonte ou d'acier, c'est que je ne sais guère parmi les températures élevées que les points de fusion ou d'ébullition qui soient connus avec quelque certitude et que, parmi les métaux usuels, le fer, sous ses différentes formes, s'offrait naturellement à moi comme étant à la fois le plus facile à obtenir en grandes masses et celui dont la température de fusion est le mieux connue. L'important Mémoire de M. Grüner, inséré aux *Annales des Mines* (7^e série, t. IV, p. 254; 1873), fournit, en effet, non-seulement les températures de fusion des fontes, laitiers et aciers, mais encore la température de ces corps au sortir des hauts fourneaux ou fours à fusion.

Grâce à l'obligeance de M. Charrière, directeur des forges d'Allevard,

⁽¹⁾ MM. de la Provostaye et Desains ont établi, en effet, l'importance des perturbations qui peuvent résulter de l'emploi d'une enceinte trop petite, surtout lorsque cette enceinte est de forme cylindrique.

⁽²⁾ Quant aux expériences de M. Soret avec les verres bleus de cobalt, l'auteur reconnaissant lui-même que « l'intensité n'a pas d'influence » sur l'effet observé, elles ne me semblent mettre en évidence que la constitution, mais nullement l'intensité de la radiation solaire.

⁽³⁾ Voir *Comptes rendus* des 18 mai, 29 juin et 5 octobre 1874.

et de M. l'ingénieur Pinat, j'ai pu opérer sur la coulée d'acier de leur beau four Martin Siemens. Je me suis trouvé à Allevard à une époque où, en vue de la fabrication de ces énormes roues dont on munit maintenant les locomotives à grande vitesse, la coulée qui se renouvelait toutes les douze heures se partageait seulement en cinq ou six temps, employés chacun à remplir un moule de 500 kilogrammes. Le remplissage d'un pareil moule demandait environ 1^m30^s: je pouvais donc faire arriver sur mon appareil pendant un temps connu, une minute, la radiation de la veine liquide incandescente qui s'échappait verticalement d'un orifice carré placé au-dessus du moule. Les différentes mesures que j'ai faites pendant deux journées consécutives étant parfaitement concordantes, je ne citerai qu'une seule observation, qui m'a fourni, l'appareil fermé, 14°,4 et, l'appareil ouvert à la radiation, 15°,7. De ces données on tire facilement

$$\alpha^x = 3500 \quad \text{et, par suite,} \quad x = 1063^\circ,$$

α^x étant la radiation de la surface incandescente et x ce que j'ai appelé la *température effective*, c'est-à-dire la température que devrait posséder le corps pour que, doué d'un pouvoir émissif égal à l'unité, il rayonnât avec la même intensité que celle avec laquelle il rayonne réellement (1).

(1) La formule qui convient dans ce cas est

$$\alpha' \beta \tau + \frac{M}{S} (\theta - t) = \frac{\omega}{S} \alpha^x + \frac{\Omega}{S} \alpha^y;$$

α étant la constante de Dulong, ou 1,0077 ;

$\beta = \alpha - 1 = 0,0077$;

t la température de l'enceinte ;

θ la température du thermomètre ;

τ l'excès moyen pendant la durée de l'expérience ;

M la masse en eau de la boule du thermomètre ;

S la surface de l'enceinte ;

ω la surface de la source rapportée à la distance de l'ouverture d'admission ;

Ω l'ouverture d'admission ;

x la température effective de la source ;

y la température effective de la portion de l'espace environnant la source et vue du thermomètre à travers l'ouverture d'admission.

Remarque. — $\frac{M}{S}$ se détermine très-exactement par une expérience de refroidissement.

Or la *température vraie*, le métal ayant déjà coulé depuis sa sortie sur une longueur d'environ 0^m,50, peut être évaluée avec une très-grande approximation à 1500 degrés. Appelons T cette température, on aurait, en désignant par E le pouvoir émissif de l'acier en fusion

$$E\alpha^r = \alpha^x, \text{ d'où } E = 0,037,$$

valeur parfaitement admissible d'après les expériences de MM. de la Provostaye et Desains. Cette valeur est d'ailleurs confirmée par ce fait que, si nous supposons à la fonte en fusion précisément ce même pouvoir émissif, les mesures directes que j'ai faites sur la coulée de fonte du haut fourneau d'Alleverd nous donnent pour cette fonte, à 1 mètre environ du trou de coulée,

$$x = 832^\circ \text{ et } T = 1300^\circ,$$

ce qui est bien d'accord avec les nombres de M. Grüner. Tous ces calculs étant d'ailleurs basés sur l'hypothèse de la constance de α , cet accord ne paraîtra pas sans doute sans importance au point de vue de l'exactitude de la loi de Dulong aux températures élevées, cette loi étant interprétée, comme je l'ai expliqué plus haut, d'après les travaux de MM. de la Provostaye et Desains.

Il est d'ailleurs facile de vérifier que les résultats obtenus avec le Soleil d'une part et l'acier en fusion d'autre part sont bien entre eux dans le rapport qu'exigent nos idées sur la température du Soleil. Sans recourir à aucun calcul et empruntant seulement à mes mesures de la radiation solaire l'une d'entre elles, à la date du 6 septembre 1874, 2^h 15^m, dans laquelle le thermomètre est monté en 1 minute de 4°,2, on voit que dans le même temps, 1 minute, le thermomètre accuse sous l'influence de la radiation solaire un excès de température environ trois fois et demie plus considérable que celui dû à l'action de l'acier au sortir du four Martin Siemens; et, si l'on admet entre l'intensité d'une radiation et son effet actinométrique une proportionnalité qui ne peut pas être bien éloignée de la vérité, tant que l'on se renferme entre des limites suffisamment étroites, on peut déterminer immédiatement la température qu'il faudrait attribuer à la surface du Soleil pour qu'elle donnât lieu à une radiation trois fois et demie plus intense que celle de l'acier à 1500 degrés. On trouve ainsi, dans l'hypothèse d'un pouvoir

émisif maximum, comme *température effective* du Soleil, 1600 degrés environ, c'est-à-dire un nombre presque rigoureusement égal à celui que j'ai été conduit à admettre comme résultat de mes mesures directes de la radiation solaire.

Si maintenant, nous rappelant le fait, extrêmement important, mis en évidence par M. Hirn, de la grande transparence des gaz incandescents, nous supposons que la surface solaire rayonne comme un bain de métal en pleine fusion, les expériences précédentes nous fourniront le moyen d'obtenir avec une certaine exactitude la température de ce bain métallique. Nous en avons pu déduire, en effet, pour l'un des métaux les plus importants du globe solaire, le pouvoir émissif déterminé, sinon peut-être avec une très-grande précision, du moins (ce qui est surtout important pour le but spécial que nous poursuivons en ce moment) dans les conditions mêmes d'expérimentation adoptées pour l'étude de la radiation solaire. Si l'on accepte cette détermination comme donnant une valeur probable du pouvoir émissif de la surface du Soleil, on aura pour la température moyenne vraie de cette surface $T = 1980^\circ$, ou, en nombre rond, 2000 degrés, avec une erreur probable que j'estime inférieure à 100 degrés.

Tel serait d'ailleurs, à bien peu près, le nombre auquel conduirait une interprétation exacte des expériences mêmes par lesquelles M. Soret croit avoir montré l'inexactitude de la loi de Dulong et Petit aux températures élevées. Remarquons, en effet, que la mesure actinométrique du rayonnement émis par un disque de zircone incandescent ne pourrait fournir la température vraie de ce disque qu'à la condition que l'on connût le pouvoir émissif de la zircone à cette température. En admettant que ce pouvoir émissif est égal à l'unité, comme le fait implicitement M. Soret, ce n'est plus la température vraie qu'il calcule, mais bien la température effective; mais la connaissance de cette température effective conduit immédiatement à la valeur du pouvoir émissif moyen du disque, à condition toutefois que l'on connaisse d'autre part la température vraie du disque. M. Soret évalue cette dernière température à 2000 degrés, nombre sans doute fort incertain. Acceptons-le cependant et calculons le pouvoir émissif moyen de son disque de zircone à 2000 degrés. Calculons, d'autre part, la température effective du Soleil, telle qu'elle résulte des mesures de M. Soret, au

sommet du mont Blanc. Admettons maintenant que le pouvoir émissif moyen de la surface du Soleil soit précisément égal au pouvoir émissif du disque de zircone dans l'expérience de M. Soret, et nous trouvons, comme température vraie du Soleil, 2470 degrés, nombre qui ne diffère pas beaucoup de celui que je conclus de mes recherches et qui lui deviendrait rigoureusement égal si nous attribuions au disque de zircone, comme température moyenne de sa surface rayonnante, la valeur peut-être plus probable de 1500 à 1600 degrés; mais il y a sur cette température moyenne une incertitude trop grande pour que je veuille conclure de l'expérience de M. Soret autre chose qu'une vérification de l'ordre de grandeur du résultat de mes recherches, et cette vérification je l'y trouve assurément aussi satisfaisante que possible.

La difficulté, je dirais presque l'impossibilité de connaître la température moyenne exacte de la surface rayonnante du disque de zircone, provient de ce que la température moyenne d'une telle surface peut différer beaucoup des températures locales qu'affecteront tels ou tels points en particulier. Et cette difficulté se rencontre non-seulement dans la comparaison des sources terrestres au Soleil, mais aussi dans l'évaluation même de la température du Soleil; de telle sorte que certains points de l'image du Soleil, obtenue au foyer d'une puissante lentille à échelons, peuvent parfaitement présenter une température de 2500 degrés (j'adopte sans discussion ce nombre proposé par M. Berthelot), la température moyenne du Soleil et, à plus forte raison, celle de l'image ne dépassant pas 2000 degrés. Les variations considérables de la température du Soleil d'une région à l'autre de la surface, variations si bien mises en évidence par les observations du P. Secchi, rendent ce double résultat parfaitement possible et suffisent, je crois, pour faire disparaître toute difficulté provenant de la comparaison de deux nombres en apparence contradictoires.