

> expérimentalement quelques années plus tôt, en 1879, par le physicien slovène Jožef Stefan et justifiée en 1884 par Ludwig Boltzmann dans le cadre de la thermodynamique – la loi de Stefan-Boltzmann.

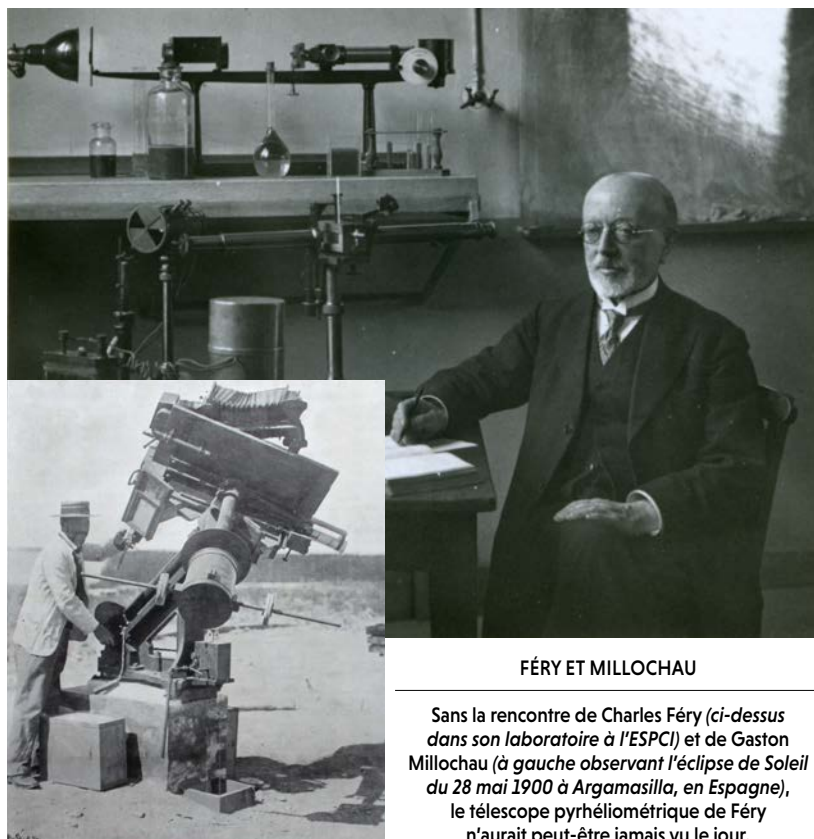
Cette loi établit que la puissance totale rayonnée par un corps noir de température absolue T est proportionnelle à T^4 . Un corps noir est un objet physique idéal qui absorbe tout le rayonnement électromagnétique qu'il reçoit, sans en réfléchir ni en transmettre. À l'équilibre, il rayonne : sa température ne reste constante et uniforme que si toute l'énergie qu'il absorbe est réémise. Or le Soleil, comme toutes les étoiles, est une bonne approximation d'un corps noir. Grâce à la loi de Stefan-Boltzmann, Wilson était donc capable de déduire la température du Soleil de l'énergie mesurée avec son appareil.

En toute rigueur, cependant, la température obtenue avec cette méthode est dite apparente : c'est celle qu'aurait un corps noir placé à la même distance que le Soleil, de même diamètre apparent et produisant un rayonnement de même intensité. Wilson n'évaluait pas, notamment, l'effet de l'absorption dû aux atmosphères de la Terre et du Soleil. Il avait donc obtenu une série de valeurs assez dispersées, allant de 5773 à 6863 kelvins. L'instrument de Féry et Millochau apporta alors une importante brique à l'édifice. Inspiré tant des rapides progrès instrumentaux que des dernières avancées théoriques, il fournit en 1906 une mesure bien plus précise de la température de la surface solaire.

UN PYROMÈTRE AUX FOURNEAUX

Âgé de 41 ans, Féry était alors professeur d'optique à l'ESPCI, dont il était diplômé de la première promotion. Passionné de physique, d'optique, de photographie, d'astronomie, il savait marier la recherche fondamentale à ses applications. Il avait déjà breveté et construit plusieurs instruments scientifiques pour la recherche et l'industrie, principalement dans quatre domaines : l'étude des propriétés physiques des substances chimiques (réfractométrie, spectrographie), l'étude du rayonnement (actinométrie, calorimétrie, pyrométrie), les piles et accumulateurs pour la TSF, et l'horlogerie électrique.

C'est l'instrument qu'il avait fabriqué durant sa thèse de physique, quelques années plus tôt, qui le conduisit à s'intéresser à l'actinométrie solaire. L'objectif de cette thèse, soutenue en 1902, était de mesurer le rendement lumineux de certains mélanges d'oxydes de terres rares utilisés dans l'éclairage au gaz, c'est-à-dire le rapport entre l'énergie lumineuse, qui éclaire, et l'énergie calorifique, qui chauffe. Pour ce faire, Féry avait trouvé un moyen d'évaluer l'énergie lumineuse de la source (en la comparant avec



FÉRY ET MILLOCHAU

Sans la rencontre de Charles Féry (ci-dessus dans son laboratoire à l'ESPCI) et de Gaston Millochau (à gauche observant l'éclipse de Soleil du 28 mai 1900 à Argamasilla, en Espagne), le télescope pyrhéliométrique de Féry n'aurait peut-être jamais vu le jour.

celle, connue, émise par une lampe incandescente), mais il lui manquait un appareil qui mesurerait son énergie calorifique. Parmi les diverses techniques disponibles à l'époque, il choisit d'utiliser un thermocouple très particulier, optimisé par ses soins : « La quantité de chaleur transmise par rayonnement est généralement très faible ; on a donc le plus grand intérêt à diminuer le plus possible la masse du corps thermométrique, pour que celui-ci prenne rapidement sa température d'équilibre. »

Concrètement, son thermocouple repose sur deux fils métalliques se croisant en leur centre, ce dernier formant la soudure chaude (voir l'encadré page 78). Et pour éviter les transferts parasites de chaleur, Féry a eu l'idée d'enfermer la soudure chaude au centre d'une cavité qui constitue la soudure froide : « Dans ces conditions, explique-t-il, un rayonnement latéral produit une élévation simultanée de la température des deux soldes. »

Cette lunette fournit au physicien les mesures qui lui permirent d'élaborer une théorie du rayonnement des oxydes. Mais sa thèse n'était pas encore achevée qu'il pensait déjà aux applications qu'un tel prototype aurait dans le monde industriel. C'est ainsi que son pyromètre devint le premier appareil commercial utilisant le rayonnement du corps noir pour mesurer une température. Jusqu'alors, on mesurait la température des fourneaux d'usine à l'aide de

thermomètres, qui s'endommageaient vite, ou de pyromètres optiques, dont la précision dépendait de la sensibilité de l'œil de l'observateur. Or il se trouve que les fours industriels sont parmi les meilleures réalisations expérimentales du concept de corps noir. On ménage une très petite ouverture dans un four par ailleurs fermé et, connaissant la valeur de l'énergie rayonnée par le four au moyen d'une mesure à la lunette pyrométrique, on en déduit sa température en appliquant la loi de Stefan-Boltzmann, corrigée de l'absorption dans l'objectif de la lunette.

Le modèle industriel du pyromètre de Féry permet d'évaluer des températures de 800 °C à 1800 °C, avec une précision de ± 5 °C au-dessus de 1700 °C. En 1904, Féry l'améliora encore en le transformant en un télescope pyrométrique, plus sensible : à l'inverse de la réfraction dans une lentille, la réflexion sur un miroir concave n'introduit quasiment aucune absorption. Un millier d'exemplaires furent produits par plusieurs constructeurs.

C'est dans ce contexte qu'en 1906 se rencontrèrent Féry et Millochau. Ce dernier était un astronome contemporain de la naissance de l'astrophysique et observateur de talent. Collaborateur proche de Jules Janssen, le fondateur de l'observatoire de Meudon, il menait

LES TRÉSORS DE L'ESPCI

Depuis 2017, une commission menée par Brigitte Leridon procède à un inventaire des instruments scientifiques anciens de l'ESPCI Paris, le dernier, partiel, ayant été réalisé il y a dix ans. À ce jour ont été référencés plus de 500 objets d'intérêt, autant de témoins du riche passé d'une école vieille de 136 ans, ayant notamment abrité les travaux de Pierre et Marie Curie, et de Paul Langevin.



des recherches sur les spectres des planètes et du Soleil. En 1906, il se consacrait à l'étude du Soleil. La paternité de l'idée n'est pas claire, les deux savants donnant des versions contradictoires. Toujours est-il que Féry fit réaliser un prototype de télescope pyrométrique pour la recherche en actinométrie solaire.

Selon Millochau, leur objectif était double : d'une part, obtenir une mesure précise de la température de la surface solaire et, d'autre part, mesurer ce que l'on appelle la constante solaire – la quantité de chaleur que reçoit par minute une surface noire d'un centimètre carré soumise

aux rayons du Soleil, corrigée de l'effet absorbant de l'atmosphère terrestre. La fabrication du pyréliomètre fut confiée à Charles Beaudouin, constructeur d'instruments scientifiques installé depuis 1903 non loin de l'ESPCI, qui bénéficia très tôt des commandes de Féry, lequel appréciait ses qualités de mécanicien et d'électricien.

Millochau utilisa le télescope pyréliométrique de Féry au cours de deux missions... au sommet du mont Blanc. En effet, Janssen, qui cherchait à déterminer la composition de l'atmosphère du Soleil, avait fait construire quelques années auparavant, en 1893, un observatoire au sommet du mont afin de réduire l'effet de l'atmosphère terrestre sur ses mesures. La première expédition de Millochau eut lieu en 1906 :

«Après une série d'observations à Chamonix, je partis le 20 juillet. [...] Une série de mauvais temps s'étant produite, le pyréliomètre ne put être monté par les porteurs que le 29 juillet, et les observations furent immédiatement commencées. Les meilleures conditions atmosphériques furent réalisées le 2 août. [...] Vers sept heures, le ciel commença à s'éclaircir et resta d'une pureté remarquable jusqu'à la nuit. [...] La courbe journalière obtenue ce jour-là, en mesurant d'heure en heure la radiation du centre solaire, est très régulière et extrêmement intéressante.»

AU SOMMET DU MONT BLANC

Durant les treize jours de cette mission, Millochau conduisit deux expériences avec le pyréliomètre. La première consistait à quantifier l'effet de l'absorption par l'atmosphère terrestre. L'astronome supposa qu'elle suivait la loi de Beer-Lambert, qui énonce que l'intensité d'un rayonnement décroît exponentiellement avec la distance parcourue dans un milieu absorbant. En réalisant une série de pointés du centre du Soleil au cours d'une journée, pour différentes hauteurs de l'astre sur l'horizon, et donc différentes épaisseurs d'atmosphère terrestre traversées par son rayonnement, il déduisit que cette dernière absorbait 11% du rayonnement initial au sommet du mont Blanc.

La seconde expérience consistait à obtenir un profil d'intensité du rayonnement le long d'un diamètre solaire. Pour ce faire, le pyréliomètre fut orienté vers un point juste en avant du Soleil de midi et laissé immobile ; alors que la Terre tournait autour de son axe, l'image du Soleil traversait le champ de vision de l'instrument. En prenant des points de mesure régulièrement espacés dans le temps, Millochau obtint jusqu'à 16 valeurs le long d'un diamètre du Soleil.

L'astronome salua la symétrie de la courbe ainsi obtenue, qu'il attribua à la qualité de l'instrument de Féry. Son inertie thermique étant très faible, l'appareil était capable de reproduire instantanément les variations temporelles de l'énergie solaire. En revanche, il regretta d'avoir dû tracer la courbe point par point : «En employant >

L'OBSERVATOIRE JANSSEN

Inauguré en 1893, l'observatoire que fit construire l'astronome Jules Janssen au sommet du mont Blanc était alors le plus haut du monde. Outre Millochau et le télescope Féry, il accueillait environ 25 chercheurs à l'occasion d'une cinquantaine de missions, avant d'être englouti dans une crevasse en 1909.