

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 permit 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.

aux rayons du Soleil, corrigée de l'effet absorbant de l'atmosphère terrestre. La fabrication du pyrhéliomètre 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 pyrhéliométrique 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 pyrhéliomètre 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 pyrhéliomètre. 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 pyrhéliomètre 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 >

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

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.

» un galvanomètre enregistreur spécialement aménagé, on aurait une courbe continue. Nous n'avons pu réaliser ce dispositif trop coûteux pour nos ressources.»

Milochau nota aussi que l'aiguille du galvanomètre relié au pyrhéliomètre pour mesurer le courant induit par le rayonnement solaire ne redescendait pas à zéro quand on visait une zone proche du Soleil. Il attribua ce phénomène à «une émission calorifique extérieure à l'image solaire»: il détectait vraisemblablement les

effets des rayonnements infrarouges qu'émet la chromosphère solaire. Enfin, cette succession de mesures en différents points du disque permit d'estimer l'absorption par l'atmosphère solaire, en appliquant la même méthode que pour l'atmosphère terrestre.

Milochau réalisa ces deux expériences en quatre lieux: le sommet du mont Blanc (4810 mètres), Chamonix (1000 mètres), le refuge des Grands Mulets (3050 mètres) et, une fois de retour, à l'observatoire de Meudon (150 mètres). Comparant la qualité des différents sites, il fit valoir l'intérêt de l'observatoire Janssen, au sommet du mont Blanc, où les conditions atmosphériques étaient très stables au cours de la journée, particulièrement en termes de convection et d'hygrométrie. Milochau envisagea même une façon encore plus audacieuse d'obtenir de meilleurs résultats: «Un sondage vertical de l'atmosphère, en ballon, où je crois possible d'utiliser le télescope pyrhéliométrique, donnerait certainement de précieuses indications sur les effets de l'absorption de l'atmosphère terrestre.»

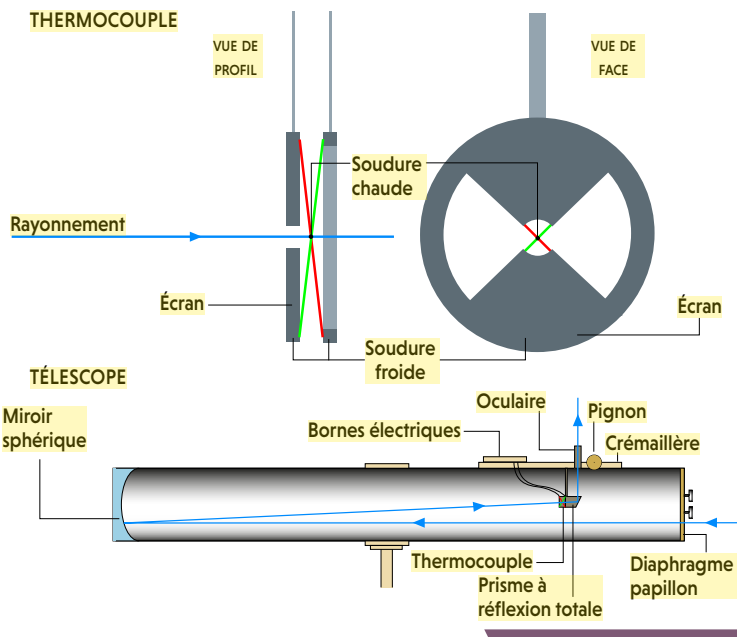
LE TÉLESCOPE DE FÉRY



Le pyrhéliomètre de Charles Féry (ci-contre après restauration) est un télescope Newton de 103 mm de diamètre et de 800 mm de focale. Au foyer du miroir se trouve un thermocouple constitué de deux fils très fins de deux métaux ayant un fort pouvoir thermoélectrique, le fer et le constantan, un alliage de nickel et de cuivre. La jonction entre les deux fils constitue la soudure chaude du thermocouple. Le corps du télescope forme la soudure froide. Un prisme à réflexion totale placé derrière le thermocouple renvoie le faisceau dans un oculaire latéral fixé sur une glissière à molette. Une fois le pointage et la mise au point effectués, on y observe la superposition de la soudure chaude du thermocouple (de diamètre 0,5 mm), et de l'image du Soleil (8 mm). Là où les précédents actinomètres recueillaient passivement les rayons du Soleil, mesurant des valeurs moyennées sur l'ensemble de la surface solaire, le pyrhéliomètre Féry focalise donc ces rayons, permettant ainsi jusqu'à 16 points de mesure de la température le long d'un diamètre solaire. Enfin, le courant produit par le thermocouple est mesuré avec un galvanomètre de grande précision. Pour éviter un échauffement et donc un courant trop élevés, le télescope est muni d'un diaphragme en forme de papillon qui limite la fraction du rayonnement solaire atteignant le thermocouple.

BRIGITTE LERIDON

chercheuse CNRS en physique du solide à l'ESPCI Paris



UNE MESURE DIRECTE DE LA CONSTANTE SOLAIRE

Puis Milochau confia le pyrhéliomètre à Féry, à l'ESPCI, afin de procéder à l'étalonnage de l'appareil et de corréliser les déviations du galvanomètre aux températures apparentes. Un four électrique à résistance de platine chauffé à une température connue servit d'étalon pour interpréter les résultats finaux des observations: la température apparente de la surface solaire ainsi mesurée était de 5663 kelvins, soit environ 5400°C. La déviation étant mesurée sur un galvanomètre précis à 1%, correspondant à une précision de 0,25% sur la température, les deux savants conclurent que l'incertitude sur leur mesure était $\pm 15^\circ\text{C}$. L'ensemble des résultats fut alors annoncé dans une série de trois communications à l'Académie des sciences, présentées par Janssen.

Mais l'aventure du pyrhéliomètre ne s'arrêta pas là, car il remonta au sommet du mont Blanc l'été suivant pour une seconde campagne d'observations. En effet, Féry et Milochau n'avaient pas encore déterminé la constante solaire. Toutefois, le pyrhéliomètre seul ne pouvait fournir ce résultat: l'expression de la constante solaire, calculée en sommant les contributions des différents points mesurés sur le disque solaire, fait apparaître un coefficient indéterminé. Néanmoins, la faible inertie thermique de l'instrument le rendait capable de fournir des mesures beaucoup plus rapidement que la plupart des actinomètres, appareils alors utilisés pour la mesure de la constante solaire. Les deux savants imaginèrent donc une méthode pour convertir le pyrhéliomètre en un «actinomètre instantané».