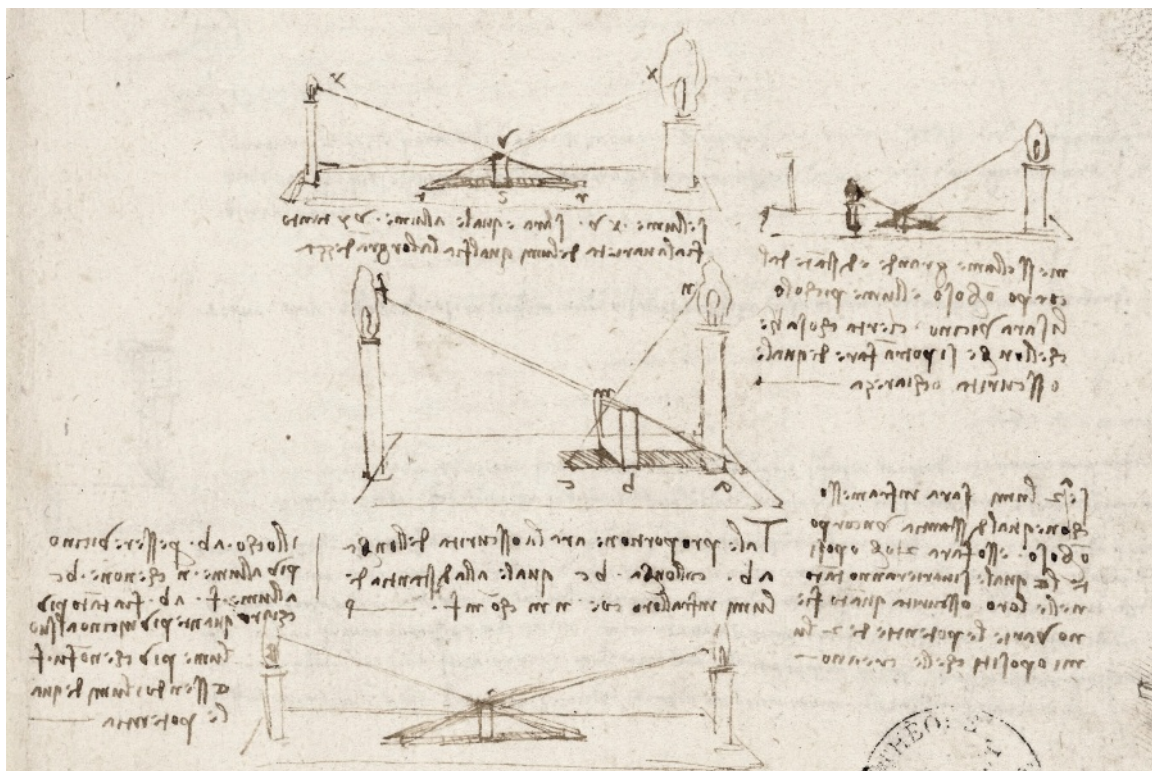




Si Léonard de Vinci n'a pas assez approfondi ses expérimentations pour proposer un véritable protocole de mesure de la lumière, il a néanmoins observé qu'en modifiant la distance d'une des sources, il était possible d'égaliser la « force » des ombres, comme il l'explique ici dans un de ses carnets.

s'y attarde. Le principe de mesure que Bouguer a défini a perduré pas moins de deux cents ans, avant que les détecteurs photoélectriques ne le supplantent au début du ^{xx} siècle. Quant aux lois de photométrie qu'il a établies, elles sont toujours utilisées...

ORDONNER LES ÉTOILES

Il est difficile de savoir quand et dans quelles circonstances est apparue la nécessité de mesurer, ou du moins d'ordonner, des intensités lumineuses. Mais il est probable que cela ait été dans le but de cataloguer et classer les étoiles. L'*Almageste*, de l'astronome grec Claude Ptolémée (ⁱⁱ siècle) référence 1026 étoiles et, pour la première fois, les classe en six degrés de luminosité appelés « magnitudes ». On imagine que cette échelle se fonde sur l'heure à laquelle les étoiles deviennent visibles dans un ciel de plus en plus crépusculaire.

Au fil des siècles, les astronomes n'ont guère remis en cause cette classification. Certains ont proposé des tentatives de subdivision des magnitudes et, à partir du ^{xvii} siècle, les observations à la lunette astronomique ont permis d'atteindre des magnitudes supérieures (correspondant à des luminosités plus faibles). Toutefois, l'objectif de cette classification était davantage d'aider à l'identification des étoiles qu'à mesurer leur intensité lumineuse.

Au tournant du ^{xviii} siècle, cependant, deux personnes se sont penchées sur le problème et ont chacune proposé une ou plusieurs méthodes pour effectuer cette mesure. En 1698,

dans son ouvrage *Cosmotheoros*, le physicien et astronome néerlandais Christiaan Huygens a suggéré de comparer quantitativement la luminosité du Soleil et celle de Sirius en observant les deux astres à travers un long tube équipé d'un diaphragme réglable. Les luminosités (on parlerait aujourd'hui de « luminance », grandeur photométrique désignant la densité de flux lumineux par unité d'étendue géométrique du faisceau lumineux) varient en valeurs inverses du diamètre d'ouverture du diaphragme. L'idée est d'ajuster ce dernier pour égaliser les éclaircissements que produisent les deux étoiles. Bouguer critique fortement cette méthode dans son *Essai* : le principe est correct (le ratio des intensités est égal à celui des aires des diaphragmes), mais la comparaison des luminosités émises par les deux astres à plusieurs heures d'intervalle n'est pas fiable.

Les deux méthodes que le père François Marie, moine capucin de Paris, a décrites deux ans plus tard ne trouvent pas plus grâce aux yeux de Bouguer. S'inspirant d'une part des instruments d'optique et, d'autre part, du baromètre, du thermomètre et de l'hygromètre, inventés ou largement améliorés au ^{xvii} siècle, il a conceptualisé deux sortes de « lucimètres », fondés sur des principes assez proches. Le premier consiste à faire passer la lumière à travers un empilement de plaques de verre identiques ; le nombre de plaques de verre nécessaire pour éteindre complètement la lumière détermine les degrés de celle-ci. Le second repose lui aussi sur l'atténuation de la



À LIRE

Retrouvez l'*Essai d'optique sur la gradation de la lumière*, de Pierre Bouguer (Light Zoom Lumière, 2022) dans une nouvelle version introduite, commentée et transposée en langage actuel, proposée par Lionel Simonot.

lumière, mais par réflexions successives sur des miroirs identiques.

Quand Bouguer a écrit son *Essai*, il ne connaissait pas les travaux du capucin. C'est bien plus tard, à la fin de sa vie, après nombre d'autres aventures (voir l'encadré page 79), qu'il a critiqué ces dispositifs, dans un *Traité d'optique* publié de manière posthume en 1760. Bouguer a reproché principalement deux choses au moins. D'une part, sa mesure dépendait de la vue de l'opérateur – une faiblesse dont le capucin était lui-même déjà bien conscient. D'autre part, Bouguer avait lui aussi étudié l'atténuation de la lumière à travers un empilement de plaques de verre et l'échelle des degrés qu'il avait obtenue ne correspondait pas à celle du religieux. En fait, tout porte à croire que le capucin a juste présenté des concepts et ne les a pas expérimentés. Il n'a d'ailleurs donné aucun conseil pratique pour la fabrication de ses lucimètres.

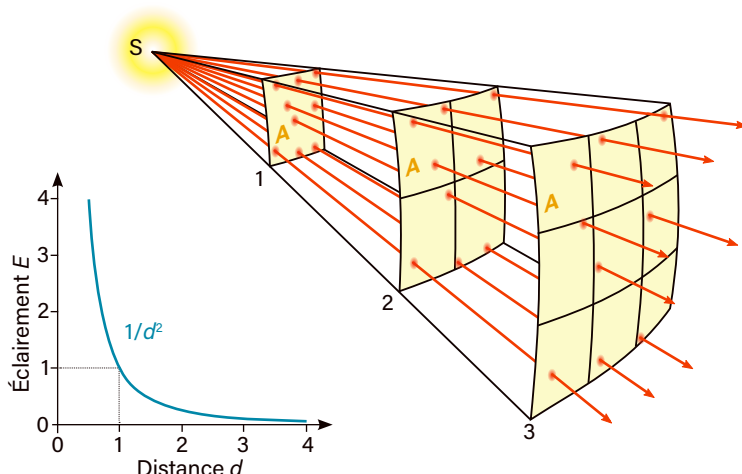
Ainsi, quand le jeune Bouguer se penche sur la question soulevée par Dortous de Mairan, le

champ est plutôt libre. Pour répondre au savant, il choisit une approche cartésienne: diviser en problèmes élémentaires plus simples et agencer de manière logique les différentes étapes de la démonstration. L'Académicien avait formulé sa question ainsi: comment quantifier la différence de lumière reçue entre les deux positions extrêmes du Soleil à l'aplomb – celles des solstices d'été et d'hiver – ou entre deux hauteurs du Soleil le même jour qui correspondraient à celles de l'astre aux solstices? Bouguer subdivise sa démonstration en deux étapes.

Dans la première, il ramène la mesure de l'éclairement à une autre plus aisée en rappelant une loi « reconnue de tous les lecteurs qui sont initiés dans l'optique »: l'éclairement en un point varie inversement au carré de la distance de la source lumineuse à ce point. Cette loi, dite « des carrés inverses » (voir l'encadré ci-dessous) associe une variation de luminosité à une simple mesure de distance. Dans la seconde, il règle le problème de la détection en remarquant que l'œil humain est un bon

LA LOI DES CARRÉS INVERSES

Dès le début de son *Essai d'optique*, Pierre Bouguer explicite la loi de décroissance de l'éclairement avec le carré de la distance à la source lumineuse. Cette loi a été établie en 1604 par l'astronome allemand Johannes Kepler dans son livre *Astronomiae pars Optica*. Pour la comprendre, il faut bien saisir qu'un éclairement est une densité de flux lumineux par unité de surface. Or si dans un cône partant de la source ponctuelle S, un flux de lumière traverse une surface élémentaire A à une distance $d = 1$, la surface traversée a une aire quatre fois plus grande à la distance $d = 2$, et neuf fois plus grande à la distance $d = 3$ (ci-contre à droite). La densité de flux sur la surface A diminue bien avec l'inverse de la distance au carré.



Pour compléter la relation entre l'éclairement $E(M)$ en un point M et l'intensité I_0 d'une source de lumière, il faut prendre en compte l'orientation de la lumière par rapport à la normale au détecteur. En 1760, dans son *Photometria*, le mathématicien suisse Johann Heinrich Lambert a établi que la variation se fait selon une loi en cosinus. L'expression générale s'écrit :

$$E(M) = \frac{I_0}{d^2} \cos \theta$$

Cette relation n'est strictement valable que si la source est ponctuelle, et en pratique pour des distances d beaucoup plus grandes que la taille de la source. Pour cette raison, cette approximation est dite « en champ lointain ». Les calculs en champ proche sont plus fastidieux puisqu'ils nécessitent de découper la source étendue en surfaces d'aire élémentaire, de déterminer la contribution à l'éclairement de chacune d'elles, et enfin de sommer ces éclairissements élémentaires. Cette loi dite « de Bouguer » devrait donc plutôt s'appeler « loi de Kepler-Bouguer-Lambert »... En revanche, la loi dite « de Beer-Lambert » devrait s'appeler « loi de Bouguer » : Bouguer fut le premier à présenter – dans son *Essai d'optique* – des mesures d'atténuation de la lumière à travers des couches d'eau ou des plaques de verre et à montrer que cette atténuation suit une loi exponentielle décroissante en fonction de l'épaisseur du milieu traversé. Mais c'est une autre histoire !