Études protométriques

A. Cornu

► To cite this version:

A. Cornu. Études protométriques. J. Phys. Theor. Appl., 1881, 10 (1), pp.189-198.
10.1051/jphystap:0188100100018900 . jpa-00237766

HAL Id: jpa-00237766

<https://hal.science/jpa-00237766>

Submitted on 1 Jan 1881

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ÉTUDES PHOTOMÉTRIQUES;

PAR M. A. CORNU.

Ayant été amené, dans différentes recherches, à étudier des dispositions simples pour la mesure des intensités lumineuses, j'ai obtenu divers appareils photométriques et spectrophotométriques qui me paraissent devoir rendre des services dans plusieurs branches de la Physique et de l'Astronomie.

Ces appareils sont fondés sur une propriété des lentilles découverte et utilisée par Bouguer, à savoir que l'image focale est, comme forme, indépendante de la grandeur et de la forme de l'ouverture de la lentille, et, comme intensité, proportionnelle à la surface de cette ouverture.

Première forme d'appareil : comparaison de l'éclat intrinsèque d'images réelles reçues sur un écran blanc. — L'appareil se compose de deux objectifs achromatiques, aussi identiques que possible, dont les axes optiques principaux se croisent au double environ de leur distance focale commune; chacun d'eux produit sur un écran blanc l'image d'un petit diaphragme rectangulaire placé sensible-

Fig. 1.

ment au foyer conjugué de l'écran; derrière chacun de ces petits diaphragmes, on place respectivement les deux sources de lumière, ou mieux la partie des sources de lumière dont on veut comparer l'éclat. On amène l'égalité des éclairéments des deux images en faisant varier la surface de l'un des objectifs; à cet effet, chaque objectif est couvert par deux plaques métalliques glissant l'une sur l'autre par l'effet d'un pignon commun à deux crémaillères CC' (fig. 1), portant chacune une ouverture carrée AB, A'B'. Dans une de leurs positions relatives extrêmes, les deux carrés

sont en coïncidence et une ouverture carrée maximum livre passage à la lumière; dans l'autre position extrême, l'ouverture de l'une des plaques est cachée par la partie pleine de l'autre, de sorte qu'aucune lumière ne peut passer; dans les positions intermédiaires, les ouvertures se correspondent partiellement, et, comme elles sont taillées de façon que le mouvement relatif ait lieu suivant une diagonale, l'ouverture libre a toujours la forme carrée, quelle que soit sa dimension. De plus, comme le pignon est fixe, par la rotation du pignon, l'une des plaques s'élève autant que l'autre s'abaisse; il en résulte que le centre du carré variable reste fixe devant le centre optique de la lentille. C'est le dispositif connu sous le nom d'*œil de chat*, dont l'invention est généralement attribuée à S^r Gravesande (¹).

Pour faire une mesure de comparaison de deux lumières, on approche les sources aussi près que possible des petits diaphragmes rectangulaires et on règle leur position par deux conditions :

1^o Leur image sur l'écran doit être aussi nette que possible ; à cet effet, on les avance ou on les recule d'une quantité convenable.

2^o Les bords opposés des deux images doivent être en coïncidence aussi parfaite que possible, afin que la ligne de séparation des deux champs devienne invisible lors de l'égalité des éclats.

En second lieu, on choisit les points des sources lumineuses qu'on veut comparer et on amène leur image respectivement sur les deux bords dont l'image est commune sur l'écran.

Tout étant bien réglé, on ouvre au maximum le diaphragme carré de l'objectif correspondant à la source d'éclat minimum, et l'on amène l'égalité des deux éclairéments le long du bord commun en manœuvrant la crémaillère de l'autre objectif : l'égalité est atteinte lorsque la ligne de séparation semble disparaître. Les ouvertures présentant un côté gradué ou une échelle convenable CC' (*fig. 1*), on calcule les éclats intrinsèques relatifs en prenant les inverses des carrés des graduations.

On peut varier indéfiniment la même mesure en diminuant un peu le diaphragme de la source d'éclat minimum et cherchant à re-

(¹) Bouguer, en raison de la coloration des verres dont il faisait usage, avait donné aux diaphragmes la forme de secteurs : les épaisseurs variables de l'objectif entraient ainsi toujours dans la même proportion (*Traité d'Optique*, p. 37 ; 1760).

trouver l'égalité : on obtient ainsi un nouveau couple de lectures dont le carré du rapport donne l'inverse du rapport des éclats, et ainsi de suite.

On a même en général, lorsque les sources sont très intenses, intérêt à diminuer l'ouverture des deux objectifs pour diminuer l'éclairement de l'écran : on juge ainsi beaucoup mieux l'égalité des deux champs lumineux.

Il peut arriver que les deux sources n'aient pas la même couleur ; la comparaison des éclats n'a plus alors de sens précis. On rétablit la signification précise en examinant les deux images de l'écran avec un verre coloré de la couleur qui paraît le plus en rapport avec l'usage qu'on doit faire de ces sources. Pour éliminer l'influence des petites dissemblances des deux appareils, on les substitue l'un à l'autre, ce qui est facile, grâce à leur construction : en effet, chaque appareil est fixé sur la base d'un large tube cylindrique mobile à frottement sur un cylindre intérieur fixe. Cette disposition permet en outre d'incliner l'axe principal de l'objectif, de l'élever ou de l'abaisser à volonté.

Comme exemple instructif d'observation, on peut citer la comparaison de l'éclat intrinsèque du milieu de la flamme d'une lampe à pétrole à mèche plate avec celui de la même flamme vue de tranche : on trouve que l'éclat de la flamme vue de tranche est plus de dix fois supérieur à l'éclat du milieu de la flamme vue de face.

Pour effectuer cette comparaison, on prend une source auxiliaire (comme une lampe modérateur à double courant d'air, à verre cylindrique) et on choisit comme point de comparaison une partie de la flamme qui paraisse bien homogène, en particulier le bord de la flamme, qui possède un éclat vif et constant.

On dispose de l'autre côté la lampe à pétrole sur un support tournant autour d'une verticale passant par l'axe de la mèche, de sorte qu'une rotation de 90° place la flamme alternativement de face et de tranche. On compare ainsi l'éclat de chacun des deux aspects de la flamme à celui d'une source auxiliaire : si l'on a soin de laisser constante l'ouverture de l'objectif correspondant à cette source, le rapport cherché est égal à l'inverse des carrés des lectures sur l'autre objectif. La méthode de la source auxiliaire est évidemment générale et préférable à celle qui a été décrite plus haut, car elle élimine les inégalités de construction des dia-

phragmes ou de transparence des objectifs; c'est celle que j'ai adoptée dans les dispositifs perfectionnés qui vont suivre.

Deuxième forme d'appareil : suppression de l'écran blanc ; microphotomètre. — Le dispositif ci-dessus permet, en remplaçant l'écran opaque et blanc par une feuille de papier huilé, un verre douci, etc., d'observer en arrière les deux images contiguës avec une loupe, ce qui rend l'observation plus commode et plus précise. On peut même supprimer cet écran et observer les images aériennes, qui sont infiniment plus fines et plus vives; mais, les axes principaux des deux lentilles formant un angle d'une quinzaine de degrés, les deux images réelles ne peuvent pas être vues simultanément dans la même position de l'œil, puisque les deux anneaux oculaires (images conjuguées des objectifs) sont séparés. La comparaison devient donc difficile; elle ne peut redevenir précise que si l'on amène en coïncidence les axes optiques des deux objectifs. Pour y parvenir, j'ai employé d'abord le moyen bien connu qui consiste à interposer une glace sans tain à 45°, qui laisse passer par transmission le faisceau d'un des objectifs et qui amène par réflexion le faisceau provenant de l'autre objectif. Par un réglage convenable, on arrive facilement à obtenir les deux images réelles dans un même plan focal, qu'on observe avec un oculaire ou un microscope à faible grossissement. L'inégale proportion de lumière réfléchie et réfractée ne permet pas, dans ce cas, de comparer directement les deux sources; l'une d'elles sert de source auxiliaire (1). L'emploi de cette glace sans tain offre deux particularités qui peuvent dans certains cas présenter des inconvénients: elle polarise partiellement les deux faisceaux, l'un par réflexion, l'autre par réfraction; si donc les lumières à comparer sont elles-mêmes partiellement polarisées dans

(1) Si l'on avait quelque intérêt à connaître le rapport des intensités des sources I_1 , I_2 et le rapport k des intensités transmises par réflexion et réfraction, on ferait deux observations croisées en intervertissant les sources et mesurant les rapports apparents m et n dans les deux cas :

$$\frac{k I_1}{I_2} = m, \quad \frac{k I_2}{I_1} = n,$$

d'où

$$k^2 = mn \quad \text{et} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{m}{n}.$$

des plans non déterminés, les rapports des intensités sont altérés dans des rapports qu'il serait possible de déterminer, au prix de diverses opérations accessoires qui compliqueraient la méthode.

La seconde particularité est l'influence des deux surfaces de la glace sans tain, qui donnent chacune une image réfléchie de la source auxiliaire : on a donc ainsi deux images dans des plans focaux légèrement différents. On peut se débarrasser de l'une d'elles en prenant une glace assez épaisse ou en donnant une très légère inclinaison aux deux faces ; on n'est arrêté que par l'irisation de l'image transmise.

En revanche, cette disposition se prête à une méthode photométrique applicable à divers phénomènes physiques et astronomiques (éclat relatif des diverses régions du spectre, photométrie stellaire, etc.) qui s'accommoderaient mal de la méthode précédente. Elle consiste à *noyer* l'image transmise dans l'éclat de l'image réfléchie (supposée large et uniforme), jusqu'à ce qu'elle disparaisse. L'influence des deux surfaces de la glace sans tain n'a plus d'inconvénient ; on peut alors prendre une lame mince de verre à microscope ; les deux images coïncident presque et donnent une intensité sensiblement double à la lumière réfléchie ⁽¹⁾.

(¹) En faisant l'opération inverse, c'est-à-dire en noyant l'image réfléchie dans l'éclat de l'image transmise, on obtient une relation qui donne le rapport des intensités des deux lumières au moment où l'une efface l'autre.

En effet, soient I_1 l'éclat intrinsèque de l'image transmise supposée fixe, I_2 celui de l'image de la source auxiliaire qu'on rend variable par la manœuvre du photomètre et h le rapport cherché dans la première opération ; soit S la surface libre de l'objectif du photomètre ; on a

$$hSI_2 = I_1.$$

Dans la seconde on affaiblit I_2 en donnant à la surface libre de l'objectif la valeur S' :

$$hI_1 = S'I_2$$

d'où

$$h^2 = \frac{S'}{S}.$$

Il suffit, pour cela, de prendre deux sources lumineuses assez larges pour donner des champs uniformes ; on introduit alternativement dans le plan focal de chacune d'elles un petit diaphragme DD' , successivement dans les positions $D_1D'_1$ et $D_2D'_2$

l'aide de l'écran photométrique : ce sont les meilleures conditions pour obtenir l'égalité des deux intensités. Dans ces circonstances, et surtout si l'on a soin d'atténuer les intensités jusqu'à une certaine

Fig. 3.

limite, l'œil acquiert une si grande sensibilité, que les moindres différences de composition des lumières se traduisent par une différence de teinte qui devient gênante dans l'appréciation de l'égalité ; il n'y a que les sources rigoureusement identiques ou monochromatiques qui donnent une impression d'égalité absolument satisfaisante.

Les plages à comparer peuvent être extrêmement petites ; si les images focales sont bien pures et obtenues à l'aide d'objectifs achromatiques, le microscope qui sert d'oculaire peut les amplifier dans de grandes proportions : l'appareil est alors susceptible de mesurer l'éclat d'images extrêmement petites : de là le nom de *microphotomètre* que je propose de donner à cet instrument.

Ce genre de photomètre permet de mesurer non seulement l'éclat intrinsèque de l'image focale qui se peint dans le plan AF_1 , il permet aussi de mesurer, lorsqu'on enlève l'objectif L_1 , l'éclairement produit par une source quelconque dans le même

plan AF_1 . En un mot, on peut mesurer l'intensité d'une onde lumineuse tangente au plan passant par l'arête A et la droite AF_1 .

J'ai profité de cette propriété pour vérifier l'exactitude des indications du photomètre en admettant la loi de l'inverse du carré de la distance, qui paraît à l'abri de toute objection. Une source de lumière constante a été placée à des distances variables D . L'intensité I de l'éclairement produit dans le plan focal a été mesurée par la variation de l'ouverture du photomètre; cette intensité est mesurée par le carré de la diagonale δ de l'ouverture. On doit donc avoir

$$I = h\delta^2 \quad \text{et} \quad I = \frac{k}{D^2},$$

d'où

$$D^2\delta^2 = \text{const.}, \quad D\delta = \text{const.}$$

Le produit de la distance D de la source au plan AF_1 , multipliée par la lecture δ du photomètre, doit donc être constante. Voici deux séries qui vérifient cette relation :

Distance D .	I.		II.	
	Lecture δ .	Produit $D\delta$.	Lecture δ .	Produit $D\delta$.
^m 0,346.....	11,74	4,062	13,14	4,546
0,846.....	4,92	4,162	5,52	4,670
1,346.....	3,10	4,173	3,45	4,644
1,846.....	2,26	4,173	2,52	4,652
2,346.....	1,73	4,059	1,98	4,645

J'estime que l'erreur moyenne, dans les circonstances favorables d'intensité et d'égalité de teinte, ne dépasse pas $\pm \frac{1}{200}$.

Remarque. — L'appareil photométrique ne répond à sa propriété fondamentale que si la pupille reçoit *toute* la lumière qui a passé par l'ouverture des lentilles ou qui provient de la source; il importe donc de vérifier par l'observation de l'*anneau oculaire* du microscope (à l'aide d'une loupe additionnelle, rappelant le dynamomètre de Ramsden): 1° que l'ouverture carrée minimum du photomètre L_2 est entièrement visible dans l'anneau oculaire; 2° que l'ouverture de l'objectif L_1 , ou bien l'image de la source, est aussi entièrement visible et bien concentrique à l'image de l'ouverture carrée.

Troisième forme d'appareil : spectro-photomètre. — Les dis-

positions précédentes s'appliquent immédiatement à la comparaison de l'intensité des diverses couleurs du spectre : il suffit pour cela de faire tomber dans le plan de la fente d'un spectroscope l'image focale, produite par l'objectif L_1 , de l'objet lumineux qu'on étudie et l'image focale, produite par l'objectif L_2 , de la source auxiliaire. Cette seconde image est amenée par réflexion totale sur l'hypoténuse d'un prisme aussi petit que possible, dont les arêtes sont parallèles à la fente; c'est le dispositif de tous les spectro-

Fig. 4.

scopes. La moitié supérieure de la fente est ainsi éclairée par l'image de l'objet étudié, la moitié inférieure par celle de la source auxiliaire. On obtient ainsi deux spectres superposés séparés par une ligne noire qui n'est autre que l'ombre de la base, vue de tranche, du prisme hypoténuse : cette ligne peut être rendue très fine et presque invisible si l'on use avec soin la surface du prisme (choisi aussi petit que possible) bien normalement aux arêtes : l'astigmatisme inévitable des faces du prisme favorise d'ailleurs le réglage simultané des raies spectrales et de l'image de cette ligne noire.

Pour rendre la comparaison plus facile, un diaphragme d , percé d'une fente convenable, placé dans le plan focal de l'oculaire

O, permet d'isoler une petite région des deux spectres correspondant aux couleurs à comparer (¹).

Si le diaphragme est mobile sur une graduation, chaque position pourra définir une longueur d'onde moyenne, à l'aide d'une comparaison préliminaire faite avec les raies de la lumière du Soleil.

(*A suivre.*)