

Photomètre universel sans écran diffusant

H. Buisson, Ch. Fabry

▶ **To cite this version:**

H. Buisson, Ch. Fabry. Photomètre universel sans écran diffusant. Journal de Physique et le Radium, 1920, 1 (1), pp.25-32. 10.1051/jphysrad:019200010102500 . jpa-00200751

HAL Id: jpa-00200751
https://hal.science/jpa-00200751

Submitted on 4 Feb 2008

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.

PHOTOMÈTRE UNIVERSEL SANS ÉCRAN DIFFUSANT.

Par MM. H. BUISSON et Ch. FABRY.

1. **Introduction.** — La mesure de l'intensité d'une source lumineuse se fait ordinairement en éclairant avec cette source un écran diffusant dont on égalise l'éclat avec celui que produit une source de comparaison. Cette manière de procéder conduit à de grandes difficultés lorsqu'il s'agit d'obtenir séparément les intensités de plusieurs sources de lumière placées à peu de distance les unes des autres; l'écran est alors éclairé par l'ensemble des sources et la détermination de son éclat n'apprend rien sur l'intensité de chacune d'elles. C'est ainsi que, dans l'étude de l'éclairage public, il n'est pas facile de mesurer séparément les intensités des diverses lampes qui éclairent une rue ou une salle. Même dans le cas d'une source unique, la lumière diffusée par les objets voisins peut introduire de graves erreurs.

D'autre part, l'écran diffusant offre l'inconvénient de gaspiller la lumière : il renvoie dans toutes les directions le flux lumineux qu'il a reçu et une très faible fraction de ce flux $\left(\text{rarement plus de } \frac{1}{10\,000}\right)$ atteint la pupille de l'observateur. Il en résulte que la mesure est impossible si la source de lumière est faible ou éloignée.

Ces considérations nous ont conduits à étudier un appareil d'usage commode, sans écran diffusant, disposé de telle manière que les flux provenant de diverses directions ne se mélangent pas et que l'œil perçoive un éclairement uniforme provenant d'une seule source lumineuse. Cet appareil présente les avantages suivants : possibilité de mesurer une source unique malgré le voisinage d'autres sources ou de corps diffusants; limites d'emploi très étendues, et possibilité de mesurer dans de bonnes conditions des sources très faibles ou très éloignées.

Le même appareil peut aussi servir à mesurer des éclats intrinsèques et, en lui adjoignant un écran diffusant, des éclairements. Il peut ainsi jouer le rôle de photomètre universel (1).

2. **Principe.** — La méthode consiste à prendre comme plage photométrique la surface d'une lentille qui projette sur la pupille de l'observateur une image de la source de lumière. Soit (fig. 1) une source de lumière L dont l'objectif O projette en L′ une petite image qui tombe sur la pupille P de l'observateur, image supposée assez petite pour que la pupille la reçoive

(1) Un appareil d'essai a été réalisé en 1918 au service des Inventions en vue d'expériences intéressant la défense nationale. Un modèle définitif est actuellement en construction chez M. Jobin.

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphysrad:019200010102500

tout entière. L'observateur voit alors la surface de la lentille uniformément éclairée et, comme il n'y a pas de lumière perdue, l'éclat de cette surface est très grand même si la source L est faible et éloignée. D'une manière analogue, une source de comparaison donnera une seconde plage uniforme, que l'on égalisera (1) avec la première.

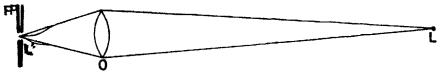


Fig. 1.

Le calcul suivant montre le grand avantage que présente la méthode exposée ici sur celles qui font intervenir un écran diffusant. Soit J l'intensité lumineuse de la source. D et D' les distances de la lentille à L et à L'. Le flux qui tombe sur l'unité de surface de la lentille est $\frac{J}{D^2}$; il se répartit tout entier dans l'angle solide $\frac{1}{D'^2}$; le flux reçu par unité d'angle solide, qui détermine l'éclairement de l'image rétinienne, est donc :

$$E = \frac{JD'^2}{D^2}.$$

Supposons d'autre part qu'à la place de la lentille on mette un diffuseur parfait. Si s est la surface de la pupille, celle-ci recevra par unité d'angle solide le flux :

$$E' = \frac{Js}{\pi D^2}.$$

On a donc :

$$\frac{E}{E'} = \frac{\pi D'^2}{s} = \left(\frac{D'}{a}\right)^2$$

en désignant par a le rayon de la pupille.

Soit par exemple $D' = 15$ cm; en admettant que la pupille ait 5 mm de diamètre ($a = 0{,}25$) on aura :

$$\frac{E}{E'} = 3\,600.$$

(1) Cette méthode photométrique a déjà été employée pour résoudre divers problèmes. Citons en particulier plusieurs spectrophotomètres bien connus, dont celui de M. Gouy (1880). Nous avons nous-mêmes utilisé cette méthode dans notre microphotomètre pour la mesure de l'opacité des clichés photographiques. M. Buisson s'en est aussi servi dans ses mesures de très faibles luminosités provenant de préparations luminescentes qu'il aurait été impossible de mesurer en prenant un diffuseur. La même méthode a servi à lord Rayleigh dans ses mesures de pouvoir réflecteur. Récemment M. Blondel a décrit un dispositif pour la mesure de la transparence de l'atmosphère, dans lequel cette méthode est utilisée.

La suppression de l'écran diffusant et son remplacement par une lentille de 15 cm seulement de distance focale permettent donc, en restant dans les mêmes conditions d'éclat des plages, de faire des mesures sur une source donnant un éclairement 3 600 fois plus faible. Si l'on admet qu'avec un écran diffusant on peut faire de bonnes mesures sur un éclairement d'un lux, le dispositif sans diffuseur permettra, dans d'aussi bonnes conditions, de faire des mesures sur une source d'une bougie placée à 60 mètres, et cela sans être gêné par les autres sources de lumière. En employant une lentille de plus long foyer, on pourrait mesurer une source encore plus éloignée.

Pour placer l'œil correctement et préciser la source lumineuse sur laquelle on opère, un œilleton percé d'une petite ouverture est disposé dans le plan focal de la lentille O. Pourvu que ni l'œilleton ni la pupille ne coupent les rayons qui forment l'image de la source, la mesure fait connaître directement la quantité $\frac{J}{D^2}$, c'est-à-dire l'éclairement que produirait la source L sur un écran qui occuperait la place de la lentille. La seule lumière qui intervienne dans la mesure est celle dont l'image est isolée par l'œilleton, c'est-à-dire celle qui provient d'un cône dont l'angle au sommet est environ de 1°5.

3. **Description de l'appareil.** — La figure 2 représente schématiquement une coupe horizontale de l'appareil. Les deux plages photométriques sont juxtaposées au moyen d'un cube de Lummer-Brodhun K, dont une face reçoit la lumière de la source à mesurer et une autre face celle de la lampe de comparaison. Parmi les nombreux procédés que l'on peut employer pour graduer l'intensité du champ de comparaison, nous avons choisi celui qui utilise l'absorption par un coin photométrique; il a l'avantage de donner une échelle de mesure très étendue et telle qu'un même déplacement corresponde à peu près à une variation toujours la même en valeur relative.

L'observateur place son œil en E derrière un œilleton percé d'une ouverture de 4 mm de diamètre, et regarde le cube placé à 16 cm de son œil: pour éviter tout effort d'accommodation, une lentille est placée en A contre l'œilleton. L'objectif O projette sur l'œilleton à travers la partie transparente du cube une image de la source à mesurer; on oriente donc l'appareil de telle manière que le tube T soit dirigé vers la source et, à l'aide d'un oculaire mobile, on vient regarder le plan de l'œilleton pour s'assurer que la petite image de la source se forme bien en son milieu.

La source de comparaison L_1 est une petite lampe électrique de 2.5 volts, alimentée par deux accumulateurs, et maintenue à régime constant par un rhéostat et un ampèremètre. Une très petite image en est projetée en L'_1 sur le coin photométrique C au moyen de la petite lentille O_1 ayant 2 cm de distance focale. Cette image réduite cinq fois est presque ponctuelle, de telle manière que l'on utilise un point bien défini du coin photométrique. Enfin, la lentille O_2, de 10 cm de foyer, rend le faisceau parallèle ; après réflexion sur la partie argentée de la face hypoténuse du cube, ce faisceau tombe, lui aussi, sur la lentille O et vient converger sur l'œilleton où se forme une petite image de la lampe de comparaison. On a réglé l'orientation du cube de telle manière que cette image soit au centre de l'œilleton.

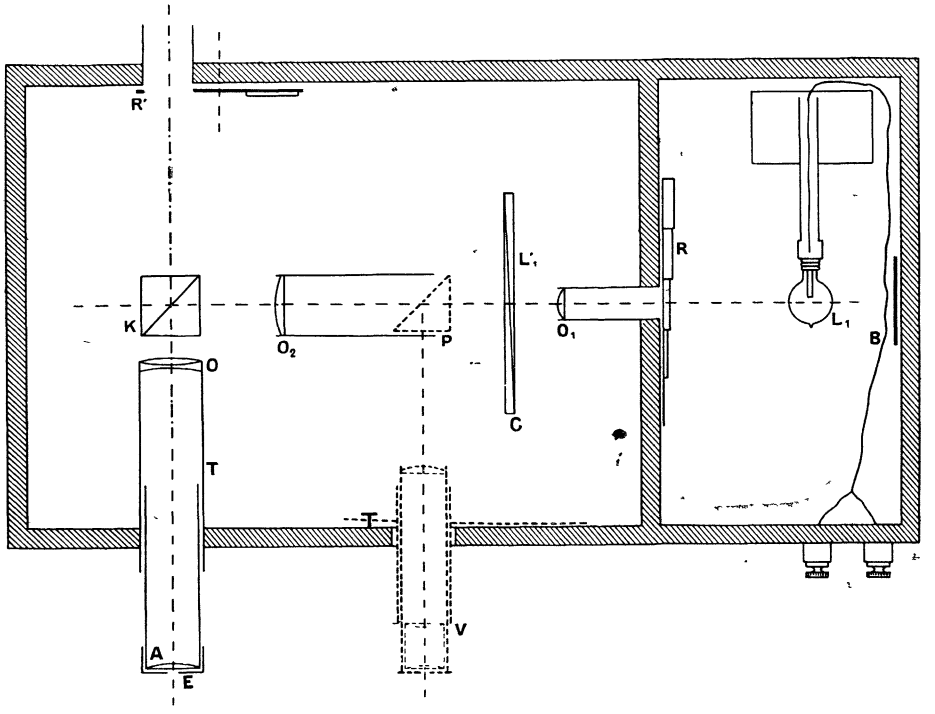


Fig. 2.

En résumé, on a en E deux images confondues de la source à mesurer et de la lampe de comparaison ; en mettant l'œil derrière cet œilleton on voit, non pas ces images, mais les deux moitiés du cube, constituant les deux plages photométriques uniformément éclairées.

La plage correspondant à la source de comparaison peut être affaiblie à volonté par le déplacement longitudinal du coin, qui se fait au moyen

d'un pignon et d'une crémaillère. La position du coin doit être repérée par une lecture rapide et commode. même dans l'obscurité ; pour cela une échelle divisée sur verre est liée au coin et placée un peu au-dessus de lui. Le viseur V, muni d'un fil vertical. pointe cette échelle par réflexion sur le prisme à réflexion totale P, placé. comme le viseur et l'échelle. un peu au-dessus des faisceaux photométriques. Le champ du viseur est éclairé par un petit carré de papier blanc placé en B et recevant la lumière de la lampe de comparaison. L'observateur, après avoir fait l'égalisation photométrique. n'a qu'à déplacer légèrement son œil pour faire la lecture. Pour éviter les erreurs provenant d'un déplacement accidentel du viseur. une ligne de repère est tracée à l'origine du coin ; l'échelle doit marquer zéro lorsque l'image de cette ligne se fait au milieu de l'œilleton. Avant de commencer une série de mesures, on vérifie qu'il en est ainsi. et au besoin on rectifie l'orientation du viseur en agissant sur une vis de réglage.

Le coin que nous employons peut faire varier l'intensité lumineuse dans le rapport de 1 à 250 ; il a 9 cm de long, et l'échelle est divisée en 200 parties. Un déplacement d'une division correspond à une variation d'environ 3 pour 100 de l'intensité. Comme on lit à l'estime le dixième de division, la précision de la lecture est plus que suffisante.

Pour produire des affaiblissements plus grands. on peut interposer des verres absorbants d'opacité uniforme, que l'on place en R : ils sont portés par une glissière munie de crans d'arrêt permettant de passer immédiatement de l'un à l'autre. Les quatre verres placés dans notre appareil permettent de diviser l'intensité de la lampe de comparaison par les nombres 13, 40, 190 et 380. Avec la variation due au coin. cela donne une étendue d'échelle dans le rapport de 100 000 à 1.

Dans certains cas. c'est, au contraire. la lumière à mesurer que l'on affaiblit, en interposant des verres absorbants en R′ ; ceux-ci sont portés par un disque muni de trous.dont l'un reste libre et les autres sont recouverts par les absorbants. Nous employons les facteurs d'affaiblissement 13 et 190.

L'appareil est contenu dans une boîte peu encombrante. dont les dimensions sont : largeur 21 cm. longueur 40, hauteur 10. Pour l'emploi on la place sur un trépied qui permet de l'orienter. Une articulation à genou rend possible le mouvement en azimuth et en site : toutefois l'observation n'est pas commode dans le cas où le faisceau incident fait un grand angle avec l'horizontale. On se sert alors d'un prisme à réflexion totale placé en dehors de la boîte à l'entrée du faisceau et qui. tournant autour de l'axe du tube T, permet de balayer tout l'espace.

L'ampèremètre, le rhéostat et les accumulateurs qui alimentent la lampe sont placés dans une petite boîte séparée.

4. **Etalonnage de l'appareil et calcul de l'intensité lumineuse.** — On détermine une fois pour toutes la courbe de graduation du coin, donnant son opacité en fonction de la lecture faite dans le viseur. Il est commode, comme dans toutes les questions analogues, d'exprimer l'absorption par le logarithme de l'inverse du pouvoir de transmission, ordinairement désigné sous le nom de *densité*. La courbe de graduation du coin donnera donc la densité en fonction de la lecture sur l'échelle ; avec un coin bien construit, cette courbe ne diffère pas beaucoup d'une ligne droite. On déterminera d'autre part les densités des verres absorbants que l'on peut interposer sur l'un ou l'autre faisceau (1).

Soit alors une source dont on cherche l'intensité lumineuse J ; supposons-la placée à une distance D du photomètre (plus exactement de la lentille O). Pour obtenir l'égalisation, il a fallu placer le coin à une position à laquelle la courbe de graduation fait correspondre une densité Δ. En outre, on a dû placer en R un verre de densité δ ou en R′ un verre de densité δ'. On a

$$\log \frac{J}{D^2} = K + \delta' - \Delta - \delta, \qquad (1)$$

K étant une constante qui ne dépend que de l'intensité de la lampe de comparaison, et que l'on détermine par une mesure faite sur une lampe étalon placée à une distance connue.

Dans notre appareil la constante K a la valeur 0.36 en prenant comme unités le mètre et la bougie internationale. Lorsque aucun absorbant n'est interposé et que le coin est dans sa partie transparente ($\Delta = \delta = \delta' = 0$), l'équilibre photométrique a lieu pour une source de lumière qui donne un éclairement de 2.3 lux ; le champ photométrique a alors le même éclat que celui d'un écran diffusant blanc recevant un éclairement de 8 300 lux. Ce champ est très brillant, mais la mesure se fait encore bien. En interposant un des verres absorbants en R′, on peut mesurer des sources donnant jusqu'à 160 000 lux, éclairement supérieur à celui que donne le plein soleil.

(1) Le grand avantage de l'emploi des densités au lieu des coefficients de transparence résulte de ce que les densités d'écrans superposés s'additionnent. Il est, d'autre part, possible d'avoir des coins photométriques dont la courbe de graduation en densité soit linéaire et par suite de construire une échelle à divisions équidistantes qui évite de recourir à une courbe de graduation et donne par simple lecture la valeur de la densité en chaque point.

Inversement, en agissant sur le coin et les écrans R. on peut mesurer dans d'excellentes conditions des sources très faibles ou très éloignées. Une source de 50 bougies placée à 100 mètres donne un champ photométrique aussi brillant qu'un écran blanc recevant 20 lux. On peut faire de très bonnes mesures sur des sources beaucoup plus faibles. incapables de donner sur un écran diffusant un éclairement appréciable à l'œil. Comme exemple extrême. nous citerons quelques mesures faites sur des étoiles. Sirius produit un éclairement d'environ 6.10^{-6} lux. absolument inappréciable sur un écran diffusant. car l'étoile ne projette pas d'ombre observable. La mesure se fait cependant dans des conditions encore assez bonnes.

L'appareil se prête aussi bien aux mesures faites au laboratoire sur des lampes que l'on peut déplacer qu'à l'étude individuelle de lampes en service dont on ne peut disposer. Dans le premier cas. on place le photomètre à quelques mètres de la source à mesurer. La lumière diffusée par les murs de la salle n'est pas gênante et l'emploi d'écrans protecteurs n'est pas nécessaire. Pour des lampes en service. on pourra mesurer successivement. sans se déplacer, toutes les sources visibles d'un point, même éloignées de centaines de mètres de l'appareil. Il sera nécessaire de connaître la distance à laquelle se trouve chacune d'elles pour pouvoir calculer les intensités lumineuses.

5. **Mesure de l'éclat intrinsèque d'une surface.** — Sans rien changer au dispositif et au mode opératoire. on pourra mesurer l'éclat intrinsèque d'une surface. La mesure porte alors sur la petite surface dont l'image couvre l'œilleton. image qu'il est facile d'examiner au moyen de l'oculaire amovible. Le champ photométrique est parfaitement uniforme même si la surface examinée ne l'est pas ; on obtient dans tous les cas l'éclat intrinsèque moyen de la surface projetée sur l'ouverture de l'œilleton.

Dans le calcul de l'éclat. la surface de l'œilleton intervient. En appelant B l'éclat intrinsèque cherché. et en conservant d'autre part les notations de la formule (1) on peut écrire

$$\log B = K + \delta' - \Delta - \delta + C. \qquad (2)$$

La quantité K qui dépend du régime de la lampe de comparaison a la même valeur que dans l'équation (1) : au contraire la constante C est indépendante de la lampe ; elle est fonction de l'ouverture de l'œilleton et peut être déterminée pour chaque diaphragme. Si Ω est l'angle solide sous lequel l'ouverture est vue du centre de l'objectif O on a

$$C = -\log \Omega.$$

L'ouverture étant circulaire il suffit de mesurer au moyen d'un goniomètre son diamètre apparent lorsqu'on la regarde à travers la lentille O.

6. **Mesure des éclairements**. — On mesurera un éclairement en déterminant l'éclat intrinsèque d'un diffuseur recevant cet éclairement. On peut opérer soit sur la lumière diffusée par réflexion diffuse en se servant d'une surface blanche mate, soit par transmission en employant un verre opale, qui vient se placer sur l'ouverture de la boîte. Dans tous les cas le diffuseur aura été étalonné et une nouvelle constante correspondant à cet écran sera ajoutée à la formule (2).

7. **Emplois divers**. — La limitation des faisceaux utilisés et la grande intensité des plages photométriques permettent diverses mesures spéciales qui seraient difficiles à faire avec des photomètres ordinaires.

Il est, par exemple, très simple de mesurer le coefficient de transmission d'une lame absorbante ou d'un liquide contenu dans une cuve à faces parallèles en les interposant sur le faisceau qui, venant d'une source fixe, pénètre dans le photomètre. On peut également mesurer le pouvoir réflecteur d'un miroir ou étudier le pouvoir diffusant d'une surface dans une direction déterminée (1).

C'est ainsi que nous avons employé notre appareil pour mesurer la lumière perdue par absorption et réflexion à travers une lunette. Prenant comme source de lumière un diffuseur d'éclat uniforme, on compare l'éclat intrinsèque observé directement avec celui que l'on obtient lorsque l'on interpose l'instrument à étudier à l'entrée du photomètre. Le grossissement n'a aucune influence sur le résultat. Il est commode de placer l'objectif de la lunette et non l'oculaire vers le photomètre, afin que le faisceau ait un diamètre suffisant pour couvrir la plage photométrique. Pour différentes jumelles à prismes nous avons trouvé une proportion de lumière transmise variant de 0.55 à 0.60 tandis qu'une lunette simple à quatre verres nous a donné 0,72. La même méthode est applicable à d'autres appareils d'optique, par exemple aux périscopes.

(1) C'est cette méthode qui a été employée par lord Rayleigh dans ses mesures de pouvoir réflecteur (On the intensity of light reflected on water and mercury. *Phil. Mag.*, t. XXXIV, p. 309, 1892).