

Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 28 (1955)
Heft: IV

Artikel: L'étalon primaire photométrique et la théorie des grandeurs
Autor: Eskenazi, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-112615>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 22.12.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

L'étalon primaire photométrique et la théorie des grandeurs*)

par **M. Eskenazi**

Faculté d'Electricité, Université Technique d'Istanbul.

(Actuellement à l'E.P.F., titulaire d'une Bourse de la Confédération Helvétique.)

(27 IV 1955.)

Sommaire. Après avoir mis en relief un aspect primordial de la Théorie des Grandeurs, nous analysons, dans le présent article, le caractère fondamental que tout étalon devrait présenter.

Les grandeurs photométriques envisagées dans la technique de l'éclairage, nécessitent pour l'élaboration d'un système de mesures « bien dimensionné », l'introduction d'une nouvelle grandeur fondamentale irréductible aux grandeurs géométriques, mécaniques et électriques. Nous montrons que la « bougie nouvelle » adoptée à cet effet, n'est qu'un « pseudo-étalon » ne remplissant pas les conditions principales voulues, car le système de mesures qui en dérive est « sous-dimensionné ».

Nous indiquons finalement, ce que devrait être l'étalon photométrique et nous proposons pour sa réalisation l'adoption d'un « simulateur » approprié possédant la même réponse que celle de l'« œil moyen ».

1. Préambule.

A la suite de bien de recherches en vue de choisir convenablement un étalon permettant de fixer sans ambiguïté toutes les unités photométriques, le choix s'est porté sur la « bougie nouvelle »¹⁾ définissant l'unité d'intensité lumineuse, la candela, par le rayonnement du corps noir à la température de solidification du platine.

L'adoption de cet étalon constitue un progrès certain sur les anciens étalons à flamme ou à filament incandescent, parce que ce nouvel étalon détermine universellement « l'extensivité » de l'unité d'intensité lumineuse.

*) Je remercie M. le Professeur J. TERRIEN, du Bureau International des Poids et Mesures, qui après avoir lu cette étude a bien voulu me suggérer le présent titre.

¹⁾ Nous avons adopté le terme « candela », pour l'unité d'intensité lumineuse et celui de « bougie nouvelle » pour sa représentation matérielle, c'est-à-dire, l'étalon de cette unité.

Cependant, malgré ce pas en avant indéniable, plusieurs savants et techniciens n'ont pas été sans remarquer ce que la «situation» de cet étalon avait de particulier, relativement à celles des étalons utilisés pour la définition des unités géométriques, mécaniques et électriques (unités électro-mécaniques).

Dans ces derniers domaines, il suffit de posséder les étalons fondamentaux et d'appliquer correctement les méthodes adéquates de «mensuration» pour effectuer une détermination valable d'une grandeur, c'est-à-dire, pour en fixer sa mesure; il n'en va pas de même en photométrie.

Alors que dans les mesures électro-mécaniques l'observateur n'intervient que par son équation personnelle conduisant à une «erreur» dont une limite supérieure peut être catégoriquement fixée, dans les mesures photométriques se pose, en outre, un nouveau problème: celui de la «subjectivité» de l'observateur, problème totalement différent du précédent.

En photométrie, même les méthodes dites «objectives» se *réfèrent* à un élément qui pour être plus universel n'en est pas moins «subjectif»²⁾: il s'agit de la «courbe de visibilité internationale» à laquelle on *rapporte* les mesures purement «physiques». Rien de pareil n'existe ni en mécanique ni en électricité où les mesures comportent uniquement une détermination physique, sans référence ultérieure à un élément subjectif caché ou apparent.

Cette situation spéciale aux grandeurs photométriques mérite d'être élucidée afin de mieux saisir ce que pourrait et ce que devrait représenter un étalon photométrique. C'est ce que nous nous proposons de faire, aussi brièvement que possible, dans cette étude.

2. Représentation des Grandeurs, des Unités et des Etalons.

Une littérature gigantesque a été consacrée au Problème des Grandeurs envisagé souvent de différents points de vue, parfois même, incompatibles entre eux. Sans vouloir entrer dans le détail des diverses théories élaborées à ce propos, nous prendrons comme point de départ ce qui à l'heure actuelle est universellement admis et, après en avoir donné une formulation, suffisante pour le cas

²⁾ Tout phénomène subjectif pourrait éventuellement être ramené à une réaction physico-chimique; le phénomène n'en serait pas moins subjectif du fait qu'il dépend du sujet qui l'envisage et qu'il ne fait pas l'objet d'une définition écartant l'indétermination principielle résultant de l'imprévisibilité de ce sujet. Le but de cet article est de, précisément, montrer qu'il n'est pas possible de fixer les grandeurs photométriques (tout au moins à l'échelle macroscopique) tant que l'indétermination subjective n'aura pas été levée.

qui nous intéresse, nous développerons de nouvelles considérations utiles à notre sujet.

Il n'est pas possible de donner une définition explicite des Grandeurs; force nous est d'adopter, sans toutefois l'envisager dans toute son ampleur, un système (du type axiomatique) où les divers concepts entrent implicitement.

Une Grandeur comporte deux éléments: l'un «quantitatif» ou extensif et l'autre «qualitatif»; on peut l'écrire symboliquement:

$$G = g [G]$$

où g représente la «mesure» et $[G]$ l'«unité»³⁾ de la «grandeur» G .

Parfois une grandeur peut s'exprimer en fonction de grandeurs, ou d'unités de nature différente. On a alors:

$$G = l_\alpha [L]^\alpha \cdot m_\beta [M]^\beta \cdot t_\gamma [T]^\gamma \dots \quad (1)$$

où l_α , m_β , t_γ , ... dérivent, en dernière analyse, de mesures effectuées avec les unités $[L]$, $[M]$, $[T]$, ... sur les grandeurs correspondantes, en fonction desquelles G est exprimée. α , β , γ , ... sont des nombres purs.

L'élément principal d'une grandeur est donc essentiellement constitué par un complexe pouvant être symboliquement représenté par:

$$f_\delta [F]^\delta$$

où F se rapporte à une grandeur fondamentale. A la place de cet élément nous proposons d'utiliser de préférence le suivant:

$$k f_\delta [F]^\delta \quad (2)$$

où k représente un facteur permettant de rationaliser les grandeurs et les unités. k sera choisi de manière à être «rationnellement» justifiable d'après le phénomène considéré lors de la définition suivant une équation analogue à (1), de la grandeur dérivée G envisagée.

$[F]$, l'unité de la grandeur fondamentale F , se trouve définie en qualité et extensivité et est représentée matériellement par un étalon que nous désignerons par $[F^*]$.

3. Caractère fondamental de l'étalon $[F^*]$ (condition de suffisance).

Il nous faut mettre en évidence un caractère essentiel que tout étalon doit posséder et qui, lorsqu'il est ignoré, peut mener à des malentendus et à des contradictions dont plusieurs se rencontrent, d'ailleurs, dans l'histoire de l'évolution du Problème des Grandeurs.

³⁾ L'unité, tout comme la grandeur a un double caractère: un caractère «qualitatif» et un caractère «extensif».

L'étalon $[F^*]$, indépendamment de ses qualités matérielles de constance et, éventuellement, de reproductibilité, doit principalement, grâce à des méthodes appropriées, permettre la mesure de F «sans faire appel», sous quelque forme que ce soit, à des propriétés extensives (métrologiques) d'autres grandeurs de nature différente. Ainsi, l'étalon de masse doit permettre de mesurer la masse M d'un corps «sans qu'il soit nécessaire» de considérer l'étalon de longueur, par exemple. Lors de la détermination de M on pourra envisager, si besoin est, des longueurs diverses, celles des fléaux d'une balance si on le désire, mais à aucune des phases de l'opération de cette mesure on ne doit principalement se rapporter à l'étalon de longueur; si la considération des longueurs des fléaux est nécessaire, celles-ci ne devront entrer dans les calculs que sous forme de rapports ne nécessitant en aucune manière la connaissance de l'étalon de longueur; l'étalon de masse doit «suffire» à lui seul, en tant qu'élément matériel qualitatif et extensif, à la détermination de la masse M : point n'est besoin d'avoir recours à une autre représentation qualitativement et quantitativement définie. Cette propriété essentielle, que nous nommerons «condition de suffisance», devrait être possédée par tout étalon, sans quoi le nombre des grandeurs fondamentales resterait ambigu et on se priverait d'un critère précieux lors du choix (évidemment multivoque) de ces grandeurs fondamentales.

4. Systèmes «sous-dimensionnés» et systèmes «sur-dimensionnés».

Un système est «sous-dimensionné» lorsque les grandeurs fondamentales adoptées sont insuffisantes pour la définition de toutes les grandeurs envisagées (grandeurs fondamentales ou dérivées). Les systèmes C. G. S. classiques étaient sous-dimensionnés: pour définir une grandeur électrique ou magnétique, la considération des seuls étalons de longueur $[L^*]$, de masse $[M^*]$ et de temps $[T^*]$ était insuffisante; il fallait, par une voie «non avouée» introduire l'«étalon de perméabilité» électrique⁴⁾ ou magnétique en posant $\epsilon_0 = 1$ ou $\mu_0 = 1$ ⁵⁾. La Commission Electrotechnique Internationale en formulant que la perméabilité du vide représenterait à un multiple près l'unité de perméabilité, a reconnu à celle-ci son caractère de «gran-

⁴⁾ L'usage a consacré l'expression «constante diélectrique» à la place de «perméabilité électrique» que nous utilisons uniquement, à cause de son analogie avec la «perméabilité magnétique».

⁵⁾ Cette manière d'opérer est analogue à celle qui rejetterait l'étalon de masse sous prétexte que les grandeurs dynamiques peuvent s'exprimer en fonction de $[L]$ et $[T]$ si l'on a soin de poser, pour la densité de l'eau, par exemple, $d = 1$.

deur» et mis ainsi fin à cette étrange situation. Cette décision n'est peut-être pas la plus heureuse et d'autres systèmes plus simples peuvent être imaginés (B.1, B.2, B.3, B.4)⁶); néanmoins, une base principielle justifiable a été ainsi établie.

Le système de GAUSS-LORENTZ où, outre les grandeurs L , M , T , on adopte (implicitement) deux nouvelles grandeurs fondamentales en posant, en même temps, $\epsilon_0 = 1$ «et» $\mu_0 = 1$ est «sur-dimensionné», car l'un ou l'autre des étalons électrique ou magnétique permet avec les étalons mécaniques de mesurer toutes les grandeurs électromagnétiques, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à une autre grandeur fondamentale.

5. Situation particulière des grandeurs photométriques.

Il est un fait sur lequel tout le monde est d'accord: c'est que les unités $[L]$, $[M]$, $[T]$, et $[\mu]$ sont insuffisantes pour la définition des grandeurs photométriques. L'introduction d'une cinquième unité fondamentale s'impose si l'on veut inclure les grandeurs photométriques dans le système des grandeurs physiques. Dans ce cas, l'adoption d'une nouvelle grandeur fondamentale ne conduira pas à un système sur-dimensionné. La nouvelle unité correspondante nécessite une représentation matérielle: un étalon. Or, la «bougie nouvelle», comme nous allons le montrer, est loin de constituer un pareil étalon.

5.1. Insuffisance de la «bougie nouvelle» pour la définition des grandeurs photométriques.

Le propre d'un étalon est, comme nous l'avons fait ressortir, de permettre avant tout, la mesure de la grandeur fondamentale correspondante sans avoir besoin de se référer à d'autres étalons. Combiné avec d'autres étalons il pourra, par la suite, servir à définir d'autres grandeurs dérivées plus complexes telles que celles de la forme (1). Ainsi, l'étalon de longueur, le mètre, sert avant tout «sans le secours d'aucun autre étalon» à mesurer des longueurs; combiné avec le temps il peut servir à mesurer des vitesses, des accélérations, etc.

La «bougie nouvelle», au contraire, ne permet pas à elle seule de faire des mesures d'intensités lumineuses. On doit pour cela faire appel, en outre, non pas à un instrument tel que le microscope, par exemple, dans le cas des longueurs, mais bien à un élément ayant une «qualité extensive», c'est-à-dire, une «grandeur

⁶) Voir bibliographie à la fin de l'article.

métrologique» bien définie. Dans le cas des longueurs, le microscope utilisé peut être de grandeur quelconque, de composition quelconque: aucun «attribut extensif» ne lui est imposé; il n'en va pas de même dans le cas des intensités lumineuses: outre l'étalon «bougie nouvelle» on doit faire «nécessairement» intervenir soit l'«œil moyen» (l'œil standard)⁷⁾ soit quelque chose d'équivalent, comme la «courbe de visibilité» ou comme un «filtre» ou un «récepteur» photoélectrique, par exemple, ayant respectivement une courbe de transmission ou de réponse, la même que celle de la «sensibilité» de l'«œil moyen». Autrement dit, la détermination d'une intensité lumineuse nécessite non seulement l'étalon «bougie nouvelle» mais, de plus, une autre réalisation matérielle: celle de l'«œil moyen» qui n'est, en somme, qu'un étalon d'un genre spécial.

Il apparaît donc que le système formé par l'adjonction de la «bougie nouvelle» aux quatre étalons électromécaniques $[L^*]$, $[M^*]$, $[T^*]$ et $[\mu^*]$ représente un système «sous-dimensionné», si l'on veut y inclure les grandeurs photométriques.

5.2. Ce que devrait être l'étalon photométrique.

Il peut sembler que deux étalons photométriques soient nécessaires pour l'élaboration d'un système parfaitement «dimensionné»; il n'en est cependant rien, car l'étalon «bougie nouvelle» n'est tout simplement qu'un «échantillon» de rayonnement énergétique: du point de vue photométrique, ce n'est qu'un «pseudo-étalon».

Un seul étalon photométrique serait suffisant pour la définition des grandeurs photométriques, mais encore, faudrait-il le bien choisir. Cet étalon devant représenter une grandeur liée à l'œil humain doit *nécessairement* «reproduire» la «qualité extensive» impliquée par cet œil, du moins en ce qui a trait au domaine photométrique.

L'étalon photométrique fondamental ne devant être qu'une matérialisation objective du sens de la vision humaine, considéré dans un domaine bien délimité, ne peut aucunement se présenter sous la forme d'une bougie ou de quelque chose qui lui ressemble. Cet étalon pourrait revêtir la forme d'un «transmetteur» (filtre) ou

⁷⁾ Le fait de savoir si l'œil d'une personne «normale» présente de grands ou de petits écarts par rapport à cet «œil standard» et celui de la non-identité des divers «yeux standards» susceptibles d'être définis sur base des différentes modalités d'une même grandeur photométrique, ne doivent pas nous préoccuper du point de vue principal; car il serait alors possible d'envisager pour une entité donnée, non pas une grandeur unique telle que l'intensité lumineuse I , par exemple, mais une série de grandeurs I_1, I_2, \dots, I_n , affectées d'indices différents, de la même manière que l'on considère des facteurs ou des coefficients de visibilité scotopique ou photopique, pour une même longueur d'onde.

mieux, d'un «récepteur», éventuellement corrigé par un filtre analogue, par exemple, à celui conçu par M. J. TERRIEN (B.5)⁸⁾, et devrait «simuler» la «sensibilité» de l'«œil moyen». Quoique la réalisation effective parfaitement satisfaisante d'un pareil «simulateur» ne soit pas immédiatement possible dans l'état actuel de la technique, une «fonction», soit: la «courbe de visibilité internationale», permettrait de remplacer provisoirement cet étalon.

6. Conclusion.

Les considérations qui précèdent s'accordent en général, avec l'esprit des divers chercheurs qui, depuis très longtemps déjà, s'efforcent d'imaginer ou de mettre au point des méthodes, toujours plus perfectionnées, pour l'exécution de mesures objectives en photométrie (B.6, B.7, B.8, B.9, B.10, B.11, B.12)⁸⁾. Elles montrent que les efforts menés dans le domaine technique devraient pour revêtir un caractère scientifique s'intégrer dans une théorie cohérente des grandeurs dont nous avons essayé de faire ressortir un aspect qui nous semble des plus importants, à savoir: qu'un étalon devrait «suffire», métrologiquement, à mesurer toute grandeur de nature identique à la grandeur fondamentale correspondante.

La «bougie nouvelle» peut tout au plus constituer un élément commode pour la mesure précise des grandeurs photométriques. Son rôle est analogue (avec toutes les réserves qui s'imposent) à celui d'un peson, par exemple, qui serait utilisé dans une détermination de masse. Le «peson», dans ce cas, nécessite d'être placé dans un «champ gravitationnel» bien défini ou d'être utilisé *conjointement* avec un étalon de «masse»; de même, la «bougie» doit être observée par un «œil» bien défini.

Il conviendrait donc de réviser du point de vue de la «condition de suffisance», la notion de la définition des grandeurs photométriques, et de chercher à réaliser, non pas un étalon d'intensité lumineuse ou de luminance, chose impossible à fixer sans le concours de l'œil, mais bien un «simulateur» traduisant la sensibilité de l'œil, après s'être, bien entendu, mis d'accord sur les attributs photométriques de l'«œil moyen».

Note. Il m'est un plaisir de signaler que, tout dernièrement, dans l'Institut du Professeur Dr M. STRUTT à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich, Monsieur E. ROHNER a imaginé un dispositif de réception objective dont le principe sera exposé prochainement dans le Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens.

⁸⁾ Voir Bibliographie à la fin de l'article.

Bibliographie.

- (B.1) KALANTAROFF, P., Les équations aux dimensions des grandeurs électriques et magnétiques, *Revue Générale de l'Electricité*, **XXV**, 235 (1939).
 - (B.2) BRYLINSKI, E., Simplifications des formules de dimensions électriques et magnétiques, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, **215**, 103 (1942).
 - (B.3) TARBOURIEH, M., Simplification des équations aux dimensions des grandeurs électriques et magnétiques, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, **221**, 745 (1945).
 - (B.4) ESKENAZI, M., Sur un système simple de mesures électrotechniques, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, **234**, 1673 (1952).
 - (B.5) TERRIEN, J., Correction de la sensibilité spectrale d'un tube photo-électrique pour la photométrie hétérochrome et la colorimétrie, *C.I.E. Proceedings Stockholm*, **2**, li 1 (1951).
 - (B.6) FÉRY, CH., Photomètre à lecture directe. Rendement optique de quelques luminaires, *Journal de Physique théorique et appliquée*, **VII**, 632 (1908).
 - (B.7) IVES, H. E. and KINGSBURY, E. F., Physical photometry with a thermopile artificial eye, *Physical Review*, **VI**, 319 (1915).
 - (B.8) IVES, H. E., A precision artificial eye, *Physical Review*, **VI**, 334 (1915).
 - (B.9) VOOGD, J., Physikalische Photometrie, *Philips' Technische Rundschau*, **4**, 272 (1939).
 - (B.10) KÖNIG, H., Kolorimetrie mittelst Vakuumzelle und Kombinationsfilter, *Helvetica Physica Acta*, **17**, 571 (1944).
 - (B.11) MÄDER, F., Universalmeßgerät für spektrale und integrale Licht- und Farbmessungen, *Helv. Phys. Acta* **18**, 125 (1945).
 - (B.12) HARDING, H. G. W., A three-component glass filter to correct the spectral sensitivity curves of selenium rectifier photoelectric cells to that of the eye for photopic vision, *Journal of Scientific Instruments*, **27**, 132 (1950).
-