

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 37 (1946)
Heft: 4

Artikel: À propos des principes physiologiques de la photométrie et de la colorimétrie
Autor: Goldmann, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057313>

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: 18.01.2025

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:

Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens
Zurich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 23 77 44
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

37^e Année

N^o 4

Samedi, 23 Février 1946

A propos des principes physiologiques de la photométrie et de la colorimétrie

Conférence présentée à la journée de l'Eclairage, organisée par l'ASE le 22 novembre 1945, à Berne,
par H. Goldmann, Berne

612.843.3

M. Goldmann envisage, du point de vue physiologique, les impressions de luminosité et de couleur. Il met pratiquement en évidence la différence qui existe entre la colorimétrie et la spectrophotométrie.

Helligkeitsempfindungen und Farbeindrücke werden vom physiologischen Gesichtspunkt aus betrachtet. Der Unterschied zwischen Kolorimetrie und Spektrophotometrie wird in seiner praktischen Bedeutung erläutert.

(Traduction)

Les mesures techniques servent à s'assurer que l'exécution d'un certain travail se fait bien dans les conditions prescrites et à garantir à l'acheteur d'un objet ou d'énergie, que celui-ci ou celle-là présentent les qualités requises et que leurs quantités sont correctes. On peut acheter un certain nombre de wattheures d'électricité, de calories de chaleur et une certaine quantité de lumière. Mais, s'il est relativement facile de mesurer de la chaleur et de l'électricité, la mesure de la lumière se heurte souvent à de grandes difficultés, car la lumière n'est qu'une impression visuelle, tandis que l'énergie électrique et l'énergie thermique sont des phénomènes tangibles. Il existe des ondes électromagnétiques de toutes les longueurs imaginables, mais l'œil humain n'est capable de percevoir que des radiations de certaines longueurs d'ondes, comprises entre 400 et 700 nm¹). Toutes les autres sont invisibles à l'œil humain et ne constituent donc pas ce que l'on appelle la lumière. La mesure de l'énergie d'un train d'ondes électromagnétiques n'exprime par conséquent rien de positif, du moins en ce qui concerne l'impression lumineuse qu'il peut provoquer. En fait, dans le domaine des ondes très diverses qui produisent de la lumière colorée, la luminosité (c'est-à-dire l'intensité de l'impression subjective) varie extrêmement pour la même quantité d'énergie mise en jeu. Il est, par exemple, pratiquement bien difficile de dire dans quel cas une lumière bleue et une lumière jaune ont la même intensité lumineuse. On peut tout au plus estimer que l'une est beaucoup plus claire ou beaucoup plus sombre que l'autre, car il est très malaisé de faire abstraction des couleurs. La première question qui se pose est donc celle-ci: Que désire-t-on pratiquement, lorsque l'on dit qu'une lumière de vapeur de sodium et une lumière de vapeur de mercure doivent avoir la même clarté? On veut simplement pouvoir exécuter de fins travaux aussi bien avec l'une de ces

lumières qu'avec l'autre. En d'autres termes, si l'on a travaillé jusqu'ici à la lumière d'une lampe à incandescence d'une puissance donnée, la question qui se pose est de savoir quelle lampe à vapeur de sodium de telle ou telle puissance pourrait la remplacer dans d'aussi bonnes conditions, car la visibilité et le pouvoir de discrimination dépendent de l'éclairage (fig. 1). Lorsque l'on a besoin de sources lumineuses de différentes couleurs, il faut donc rechercher quelle est l'intensité des différentes lumières qui correspond à la même visibilité et à la même sensibilité de l'œil. C'est là un travail très

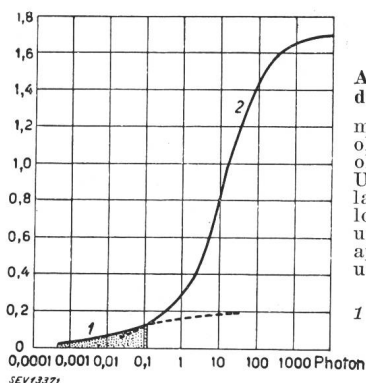


Fig. 1.
Acuité visuelle en fonction de l'éclairage de la rétine, mesurée en photons physiologiques. Un photon physiologique est (aux Etats-Unis) l'unité d'éclairage de la rétine qui se présente lorsqu'une surface ayant une brillance d'environ 3 apostilbs est considérée par une pupille de 1 mm² d'ouverture.

1 Bâtonnets 2 Cônes

fastidieux. Mais on a constaté que l'on peut obtenir la même relation entre l'intensité et la longueur d'onde, avec une très bonne approximation, en recherchant quelle intensité de lumières de différentes couleurs paraît avoir la même clarté, ce qui n'est pas non plus très facile. En somme, il est préférable d'appliquer une méthode indirecte, qui consiste à comparer deux lumières de couleurs différentes en les présentant alternativement et très rapidement devant les yeux et en observant quelle intensité doit avoir la lumière étudiée pour que le papillotement atteigne un minimum (photométrie à papillotement). A vrai dire, ces différentes méthodes de mesure de la luminosité donnent des résultats peu concordants. Il a néanmoins été décidé inter-

¹ 1 nm (nanomètre) = 10⁻⁹ m = 1 mμ (Millimicron ou millimicron). Réd.

nationalement de considérer les résultats de la photométrie «à papillotement» comme étant exacts, même lorsqu'il s'agit de déterminer l'équivalence de la *commodité de travail*. On obtient ainsi la courbe V_λ bien connue (fig. 2) qui donne la valeur du facteur de visibilité en fonction de la longueur d'onde, pour une même énergie spectrale. La courbe 1 n'est valable que pour une certaine adaptation de l'œil (adaptation à la clarté). Lorsque l'éclairage est inférieur à 0,1 lux (adaptation à l'obscurité), c'est la courbe 2 qui entre en ligne de compte, dont le maximum de luminosité est à 500 nm, et non plus

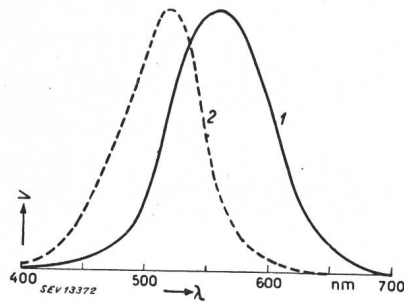


Fig. 2.

Courbes V_λ donnant la valeur du facteur de visibilité relative en fonction de la longueur d'onde

- 1 Adaptation à la clarté
- 2 Adaptation à l'obscurité ($E < 0,1 \text{ lx}$)

à 560 nm. Lorsqu'un éclairage très faible est nécessaire, une lumière bleue grisâtre rend donc de meilleurs services qu'une lumière jaune.

Comme on le voit, la mesure de la luminosité de lumières de différentes couleurs offre aux techniciens qui s'en occupent de grandes difficultés, à cause de la subjectivité des impressions visuelles. En pratique, lorsqu'il s'agit non plus de photométrie (mesure de la luminosité), mais de colorimétrie (mesure des couleurs), ces difficultés sont encore bien plus grandes. Nous n'avons en effet mentionné jusqu'ici que les impressions de *luminosité* provoquées par les différentes longueurs d'ondes électromagnétiques et simplement laissé entendre que ces ondes provoquent aussi différentes impressions de *coloration*. En colorimétrie, les choses se compliquent d'autant plus qu'une même impression subjective de couleur peut être provoquée par des trains d'ondes de compositions très variées. Il n'est pas possible de se rendre compte visuellement si telle ou telle couleur est provoquée par une raie déterminée du spectre ou par un mélange de trains d'ondes de longueurs très différentes. Ainsi, pour donner l'impression d'une couleur jaune, il suffit d'une seule longueur d'onde, par exemple celle de la lumière de vapeur de sodium. Mais on peut obtenir la même impression par la lumière de la raie rouge du lithium mélangée à la lumière de la raie verte du mercure ou du thallium, ou encore par un mélange de lumières comportant toutes les longueurs d'ondes, à l'exception des radiations bleues de 475 à 480 nm (fig. 3). De même — et cela est encore plus important pour le cas qui nous occupe — on peut obtenir de la lumière blanche de multiples manières: Par un mélange de deux longueurs d'ondes provenant de lumières complémentaires, par exemple 570 jaune et 470 bleu, 670 rouge et 490 bleu verdâtre, 560 jaune verdâtre et 420 violet. On peut également avoir l'impression d'une lumière blanche en mélangeant trois lumières,

par exemple violette, verte et rouge. Enfin, il est possible de mélanger un nombre encore plus grand de lumières, jusqu'au mélange de toutes les longueurs d'ondes visibles, dans la même proportion que pour la lumière naturelle du jour. Toutes les sources lumineuses qui émettent des lumières de ce genre paraissent blanches, y compris les surfaces réfléchissantes (papiers, etc.) que nous considérons également comme des sources lumineuses (fig. 4).

Physiquement, il ne s'agit que de la répartition d'énergie entre les différentes longueurs d'ondes du spectre. Il est donc nécessaire d'utiliser une méthode

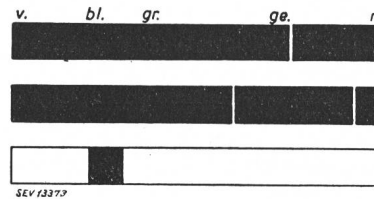


Fig. 3.

Trois lumières jaunes de compositions spectrales différentes

v. violet, bl. bleu, gr. vert, ge. jaune, r. rouge.

de mesure qui permette de déterminer spectrophotométriquement la couleur d'une source lumineuse ou d'un corps, voire même de représenter numériquement la couleur sans mesures spectrophotométriques. C'est l'objet de la colorimétrie. On choisit trois lumières monochromatiques, qui, mélangées dans une proportion déterminée, paraissent

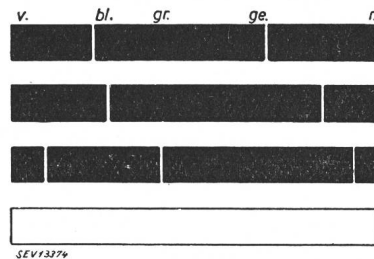


Fig. 4.

Quatre lumières blanches de compositions spectrales différentes

v. violet, bl. bleu, gr. vert, ge. jaune, r. rouge.

blanches. Lorsqu'on les utilise dans d'autres proportions, elles peuvent produire toutes les couleurs possibles, y compris la transition vers le blanc (qui est en quelque sorte leur «échelon de saturation»), mais on adopte de préférence un rouge, un vert et un violet ou un bleu. Si l'on représente symboliquement ces trois lumières normales par les angles d'un triangle (fig. 5), les côtés de celui-ci représentent toutes les teintes résultant du mélange de deux lumières normales. En matérialisant, dans notre esprit, la quantité de chaque lumière normale par un poids, le lieu du mélange est alors le centre de gravité des poids suspendus aux deux extrémités du côté du triangle. Le point en question sera d'autant plus rapproché de l'un des angles, que l'on aura dû utiliser une plus grande quantité de la lumière symbolisée par cet angle. Chaque point de l'aire du triangle représente une couleur, qui est obtenue par mélange de toutes les trois lumières normales, ceci en appliquant la loi du centre de gravité. Le point représentant la couleur blanche est donc au centre de gravité du triangle. On peut dessiner des diagrammes, qui permettent de constater quelles quantités de lumières normales il faut mélanger pour obtenir telle ou telle couleur du spectre (fig. 6).

Il est possible, de cette manière, d'exprimer chaque couleur du spectre et sa transition au blanc par un chiffre correspondant à chacune des trois lumières normales. Ces trois chiffres définissent par conséquent la *couleur* et la *saturation* de chaque lumière, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à des mesures spectroscopiques. Inversement, lorsque l'on connaît le spectrophotogramme d'une lumière, on peut déterminer (à l'aide de méthodes de calcul assez longues) sa position dans le triangle des couleurs.

En somme, tout cela est relativement simple. Lorsque les objets de couleur sont éclairés par des

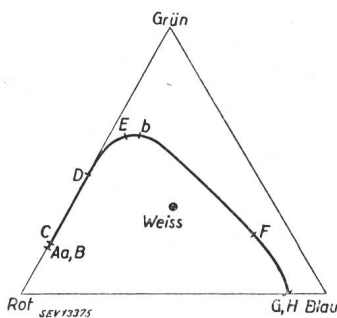


Fig. 5.
Triangle des couleurs

sources lumineuses de composition constante, il n'y a pas de surprises à craindre, mais il n'en est pas de même lorsque les sources lumineuses ont une composition spectrale très variée.

La lumière des lampes à décharge gazeuse a, comme on le sait, un spectre discontinu. Avec ces lampes, il est possible d'obtenir une lumière blan-

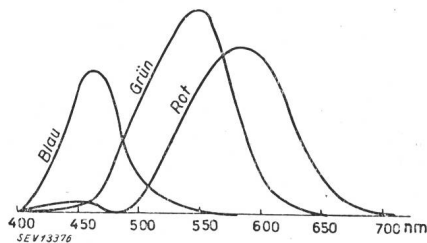


Fig. 6.
Exemple d'un diagramme des couleurs

che, qui est analogue à celle du jour et peut très bien remplacer celle-ci, mais à la condition que les exigences ne soient pas trop sévères à ce point de vue, et qu'il ne s'agisse, par exemple, que d'obtenir l'impression de la lumière blanche du jour dans une fabrique de machines. En revanche, dès qu'il s'agit de pouvoir faire une discrimination entre des coloris d'étoffes par exemple, les lumières à spectre discontinu ne peuvent plus être employées. Prenons le cas extrême d'une lampe dont la lumière se compose uniquement des trois raies 410 violet, 510 vert et 650 rouge, qui donnent une lumière blanche. Quel sera l'aspect, sous cette lumière, d'une étoffe dont la couleur à la lumière naturelle du jour est jaune, parce qu'elle absorbe une bande de 460 à 480 nm (bleu) et réfléchit toutes les autres radiations (fig. 7)? Elle n'absorbera aucune des trois radiations 410, 510 et 650. La composition du

mélange de la lumière réfléchi sera donc la même que celle de la lumière incidente, de sorte que l'étoffe en question paraîtra blanche, alors qu'en plein jour elle est jaune. Il en va de même, quoique dans une plus faible mesure, pour toutes les lumières blanches ou analogues à celle du jour, dont la composition physique n'est pas identique à celle de la lumière naturelle du jour, bien qu'elles soient considérées comme parfaitement blanches et qu'elles éclairent une feuille de papier blanc comme le fait la lumière naturelle. Cet exemple montre que, lorsqu'il s'agit d'apprécier des sources lumineuses colorées, il faut toujours considérer le problème sous ses deux aspects: Désire-t-on uniquement une source lumineuse qui éclaire des objets peu colorés comme le fait la lumière naturelle du jour, ou désire-t-on

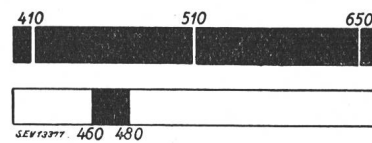


Fig. 7.

Colorant jaune, dont l'absorption spectrale est indiquée par le diagramme inférieur. Il paraît être blanc lorsqu'il est éclairé par une lumière «blanche» composée des trois radiations indiquées dans le diagramme supérieur.

une source lumineuse qui permette de distinguer également les plus fines nuances de coloris, comme en plein jour? Dans le premier cas, une lumière qui ressemble à celle du jour est suffisante. Dans le second cas, il faut une lumière qui soit physiquement identique à celle du jour. La même difficulté peut également se présenter dans le cas suivant: Lorsqu'un papier a été coloré et cette couleur mesurée colorimétriquement avec les lumières normales, il est possible de constater immédiatement quelles couleurs appliquées par exemple sur un papier et éclairées par la lumière du jour ont un aspect identique, sans qu'il soit nécessaire de les comparer directement. Mais il n'est pas possible de dire si ces couleurs sont également identiques lorsqu'elles sont éclairées par une autre lumière. Seule leur mesure spectrométrique peut alors donner des renseignements à ce sujet. En revanche, une mesure spectrométrique ne permet pas d'indiquer *immédiatement* la couleur précise d'un pigment.

Comme on le voit, la spectrophotométrie peut remplacer la colorimétrie. Elle permet de déterminer numériquement une couleur, à vrai dire avec des méthodes passablement compliquées. Quant à la colorimétrie, elle ne peut jamais remplacer la spectrophotométrie. Toutefois, chacune d'elles permet de renseigner directement sur certaines questions. Il faut donc les appliquer à bon escient, sinon l'on risque d'obtenir de faux renseignements. Lorsque des objets éclairés par une source lumineuse de composition spectrale constante doivent présenter des couleurs déterminées, on peut utiliser des couleurs qui sont colorimétriquement identiques sous cette lumière. Lorsque, en revanche, deux colorants

différents doivent avoir le même aspect lorsqu'ils sont éclairés par des sources lumineuses de compositions spectrales très différentes, il faut qu'ils soient spectrophotométriquement identiques, ce qui re-

vient à dire qu'il faudra pratiquement utiliser chaque fois le même colorant.

Adresse de l'auteur:

H. Goldmann, professeur, directeur de la Clinique ophtalmologique universitaire, Berne.

Rapport sur les travaux les plus récents du Comité Suisse de l'Eclairage

Conférence présentée à la journée de l'Eclairage, organisée par l'ASE le 22 novembre 1945 à Berne,

par H. König, Berne

061.2 : 628.9(494)

M. König met en évidence, parmi les travaux du Comité suisse de l'éclairage, deux problèmes dont il a été souvent question ces derniers temps: l'éclairage à tension réduite et le papillotage des sources lumineuses alimentées par courant alternatif, en considérant notamment les lampes à décharge gazeuse.

Aus den Arbeiten des Schweizerischen Beleuchtungskomitees werden zwei besonders aktuelle Probleme hervorgehoben, nämlich die Kleinspannungsbeleuchtung und die Lichtschwankungen bei mit Wechselstrom betriebenen Lichtquellen mit besonderer Berücksichtigung der Gasentladungslampen.

(Traduction)

Le but de ce bref exposé n'est pas de donner un aperçu général de l'activité du Comité Suisse de l'Eclairage (CSE). Le président de cette assemblée a déjà fourni d'intéressants renseignements à ce sujet dans son discours d'ouverture¹⁾. Je me bornerai à vous exposer succinctement les résultats des études entreprises à propos de deux problèmes spéciaux, ainsi que l'opinion du CSE. Il s'agit de

l'appréciation du principe de l'éclairage à tension réduite, comparé à ceux d'autres modes d'éclairage

et des

recherches entreprises en vue de déterminer la nature et l'importance des perturbations dues au papillotement de la lumière émanant de sources lumineuses alimentées en courant alternatif.

Eclairage à tension réduite

Je rappellerai brièvement ce que l'on entend par éclairage à tension réduite et quelles sont les caractéristiques de ce mode d'éclairage.

Plus un filament de tungstène est épais, mieux il supporte une température élevée, tout en durant aussi longtemps qu'un filament plus mince. Il émet dans ces conditions un plus grand nombre de lumens (unités du flux lumineux) par watt consommé. Comparativement à la lumière d'une lampe à incandescence alimentée sous tension plus élevée, la lumière de ce filament épais est un peu plus blanche. A puissance égale, le filament épais exige un courant plus fort, la tension étant plus faible. D'où le nom donné à ce mode d'éclairage.

Il existe deux systèmes d'éclairage à tension réduite:

Le système à transformateur, où plusieurs lampes sont alimentées par un seul transformateur, qui abaisse par exemple la tension de 220 à 24 V. Chaque lampe peut aussi posséder son propre transformateur.

Le système série, où par exemple 9 lampes à 24 V sont branchées en série dans un circuit à 220 V. Dans ce cas lorsqu'une de ces lampes cesse de fonctionner, il faut qu'une lampe auxiliaire s'allume ou qu'un relais provoque le shuntage de la lampe en question.

Il est naturel de comparer l'éclairage à tension réduite avec l'éclairage ordinaire par lam-

pes à incandescence alimentées sous tension normale. Si l'on compare, par exemple, des lampes de 100 W pour 24 V avec des lampes de même puissance pour 220 V, on constate que le coefficient d'efficacité des lampes à tension réduite est de 25 à 35 % plus élevé, suivant le type des lampes considérées; mais, de ce gain brut, il faut déduire environ 1 % de pertes dans les appareils auxiliaires pour le système série et au moins 10 % de pertes dans le transformateur pour le système à transformateur.

Le possesseur d'une installation s'intéresse non seulement aux frais d'achat et d'entretien, mais aussi au rendement de l'ensemble de l'installation, c'est-à-dire compte tenu de toutes les pertes, qui peuvent parfois compenser le gain brut. Dans certaines conditions, l'installation à tension réduite ne présente donc aucun avantage économique.

La différence de la couleur entre la lumière d'une installation à tension réduite et la lumière ordinaire est beaucoup plus faible que la différence entre cette dernière et la lumière blanche, de sorte que la fidélité de restitution des couleurs naturelles n'est que peu améliorée par l'éclairage à tension réduite. D'autre part, lorsqu'il s'agit de lumière fournie par des lampes à incandescence, l'acuité visuelle est indépendante de la couleur de la lumière.

J'estime qu'il vaudrait mieux ne pas trop insister sur le rendement économique plus élevé, ni sur la fidélité de restitution des couleurs naturelles un peu meilleure avec l'éclairage à tension réduite. En effet, si c'est par exemple la restitution des couleurs qui est le point essentiel d'une installation, les tubes luminescents sont à cet égard nettement supérieurs, car ils fournissent une lumière blanche qui a exactement la teinte désirable.

Enfin, l'éclairage à tension réduite présente des désavantages quant à la section des conducteurs.

Il va de soi qu'il ne faut pas mêler la question de l'éclairage à tension réduite ou de l'éclairage par fluorescence à celle de l'éclairage des emplacements de travail ou de l'éclairage général. Lorsqu'une installation d'éclairage doit être remplacée par une installation nouvelle, l'éclairage est généralement plus élevé. Si les usagers constatent que l'éclairage est devenu «meilleur», cela ne signifie pas grand chose pour un éclairagiste, car il est probable que cette

¹⁾ Paraîtra ultérieurement dans le Bulletin.