

Les conditions d'un bon éclairage

Autor(en): **Roy-Pochon, C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **78 (1952)**

Heft 10

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-58995>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Au centre de la plaque, $X_1 = -2$ et $Y_1 = -2$ et

$$f = Aq \frac{4l^3 l_1}{2^3 \pi^4 \left[\frac{3}{2} \frac{l_1}{l} + \frac{l}{l_1} + \frac{3}{2} \frac{l^3}{l_1^3} \right]}$$

Alors

$$f_{l_1=l} = 0,00129 Aql^4, \quad f_{l_1=1,5l} = 0,00230 Aql^4,$$

$$f_{l_1=2l} = 0,00285 Aql^4.$$

Répétons ce calcul de première approximation en choisissant pour X_1 et Y_1 des *polynômes*, en x et en y respectivement.

Appelons $2l$ et $2l_1$ les longueurs des côtés de la plaque et prenons des axes de coordonnées parallèles à ces côtés, l'origine étant au centre de celle-ci.

Avec $X_1 = x^4 - 2l^2 x^2 + l^4$ et $Y_1 = y^4 - 2l_1^2 y^2 + l_1^4$, les conditions au contour de la plaque seront vérifiées.

Un calcul analogue à celui que nous venons de faire donne

$$w = \frac{Aq \cdot 49 \cdot X_1 Y_1}{128 [7l_1^4 + 4l^2 l_1^2 + 7l^4]}.$$

Au centre de la plaque, pour $x = 0$ et $y = 0$

$$X_1(0) = l^4, \quad Y_1(0) = l_1^4 \quad \text{et} \quad f = \frac{Aq \cdot 49 \cdot l^4 l_1^4}{128 [7l_1^4 + 4l^2 l_1^2 + 7l^4]}.$$

Si $l_1 = l$ (plaque carrée), le crochet = $18l^4$; si $l_1 = 1,5l$, il vaut $51,4l^4$; si $l_1 = 2l$, il est égal à $135l^4$. Alors

$$f_{l_1=l} = 0,0213 Aql^4, \quad f_{l_1=1,5l} = 0,0375 Aql^4,$$

$$f_{l_1=2l} = 0,0450 Aql^4.$$

Pour comparer ces résultats aux précédents, il faut les diviser par 2^4 . La concordance est satisfaisante et l'on peut présumer que nos premières approximations de w donnent des valeurs acceptables pour les flèches.

Il en est tout autrement pour les moments M_x, M_y, M_{xy} qui dépendent des dérivées deuxièmes de w .

BIEZENO et GRAMMEL, dans leur *Technische Dynamik* (Berlin, Springer, 1939), p. 139-142, font le calcul en prenant pour w l'expression

$$w = a_{11} X_1 Y_1 + a_{12} X_1 Y_2 + a_{21} X_2 Y_1 + a_{22} X_2 Y_2,$$

avec quatre coefficients.

Les polynômes X_1 et Y_1 sont ceux que nous venons d'utiliser et

$$X_2 = x^2 X_1 = x^6 - 2l^2 x^4 + l^4 x^2, \quad Y_2 = y^2 Y_1 = y^6 - 2l_1^2 y^4 + l_1^4 y^2.$$

En prenant $l_1 = 1,5l$, ces auteurs trouvent pour les moments des valeurs qui concordent à 1 % près avec les valeurs exactes (dont le calcul est beaucoup plus compliqué) et la flèche au centre

$$f_{l_1=1,5l} = 0,0350 Aql^4,$$

est exacte à 0,4 % près.

Nous venons de faire le calcul de la plaque pour une charge uniformément répartie. Il se ferait d'une manière analogue si la plaque était sollicitée par une force P appliquée en son centre.

En se servant des polynômes convenables, on calculerait par la même méthode une plaque dont les côtés sont les uns appuyés, les autres encastres.

Ritz, pour son calcul de la plaque carrée encastree, avait utilisé, au lieu de polynômes, les fonctions propres U_i dont nous avons parlé au paragraphe 1.

LES CONDITIONS D'UN BON ÉCLAIRAGE¹

par Madame C. ROY-POCHON, ingénieur E.P.U.L.,

Présidente de la 2^{me} Section de la Société Française des Electriciens

On peut juger un éclairage de différents points de vue; les plus importants sont l'utilité, l'hygiène et l'esthétique.

Nous ne parlerons pas ici d'esthétique. Non pas que nous la considérons comme négligeable; mais elle est essentiellement affaire de goût et de sens artistique. Ce n'est pas un ingénieur qui peut trancher en une telle matière. D'autre part, l'esthétique conduit parfois à s'écarter des règles établies par les éclairagistes; on peut le faire, il va de soi, avec moins d'inconvénients dans le cas d'un salon que dans celui d'un bureau ou d'un atelier.

Du point de vue de l'hygiène, nous devons considérer les effets de l'éclairage (ou du manque d'éclairage) sur la vue et, d'une façon générale, sur la santé et le bien-être des occupants du local. A ce genre de préoccupations, nous rattachons, un peu arbitrairement, celle de la sécurité du travail.

Le point de vue utilitaire fait intervenir la rapidité d'exécution d'une tâche donnée, le rendement dans le travail, et nous incite à rechercher la plus grande efficacité de la lumière distribuée dans le local.

La technique de l'éclairage comporte un certain nombre de règles qui répondent à deux ordres de préoccupations:

- assurer un niveau d'éclairage suffisant pour l'exécution d'une tâche donnée;
- ne pas éblouir.

¹ Causerie faite le 4 mars 1952 à l'A³ E² P. L., section de Paris.

Rappel de définitions

Avant de parler de niveaux d'éclairage, il n'est pas inutile de rappeler quelques définitions.

Qu'est-ce qu'un éclairage? C'est une densité de flux lumineux, un flux par unité de surface éclairée. Qu'est-ce qu'un flux lumineux? C'est un débit d'énergie rayonnée sous forme de lumière visible. On pourrait le mesurer en watts; on préfère utiliser le *lumen*, unité subjective, qui tient compte de la sensibilité variable de l'œil suivant la longueur d'ondes. Le maximum de sensibilité correspond à 5500 angströms, c'est-à-dire à une lumière jaune verdâtre. Pour cette longueur d'ondes, on peut définir un «équivalent mécanique de la lumière»: $0,0016 \text{ watt} \left(\frac{1}{625} \right)$ pour un lumen. Autrement dit, un watt équivaut à 625 lumens. Mais ce n'est pas le cas des lampes usuelles qui sont des sources de lumière blanche. En lumière du jour, par exemple, le lumen correspond environ à $\frac{1}{250}$ watt; en lumière artificielle, à $\frac{1}{100}$ watt. Ceci veut dire que si l'on compare deux surfaces identiques, éclairées l'une par la lumière du jour, l'autre par une lampe à incandescence, l'égalité d'éclairage sera obtenue avec des énergies reçues dans le rapport de 1 (lumière naturelle) à 2,5 (lumière artificielle).

Nous croyons utile d'insister sur ce caractère essentiellement subjectif de l'unité de flux lumineux: le lumen «rouge» ne

correspond pas à la même quantité d'énergie émise par seconde que le lumen « bleu » ou le lumen « jaune ». Les mesures photométriques manquent de ce fait de rigueur mathématique ; par contre, elles traduisent, mieux que des mesures énergétiques, les effets produits sur la rétine, ce qui est important pour la pratique de l'éclairage.

L'unité d'éclairage est le *lux*, égal à un lumen par mètre carré de surface éclairée. Voici quelques chiffres pour fixer les idées. Une lampe de 100 watts, placée à deux mètres au-dessus du plan de travail, produit un éclairage de 30 lux ; à un mètre, l'éclairage est de 120 lux ; une lampe de 25 watts donne 80 lux à cinquante centimètres.

Une autre grandeur photométrique importante est l'*intensité lumineuse*. Elle concerne le flux émis par unité d'angle solide et s'exprime en *bougies* : une bougie égale un lumen par stéradian.

Au début de l'éclairage électrique, on utilisait couramment l'indication du nombre de bougies pour distinguer les différents types de lampes ; pratique qui se justifiait lorsqu'on s'éclairait avec des lampes nues ou sous simple abat-jour. Depuis l'emploi généralisé des diffuseurs et autres luminaires, on a renoncé à chiffrer l'intensité lumineuse dans une direction donnée parce qu'elle ne renseigne aucunement sur le flux total qui sort du diffuseur. On s'est donc contenté de classer les lampes suivant le nombre de watts consommés. Quel rapport y a-t-il entre le flux total émis par la lampe et le nombre de watts qu'elle consomme ? Il y a un rapport bien défini, voire même codifié par les cahiers des charges nationaux et internationaux, c'est l'*efficacité lumineuse*. Exemples : une lampe de 40 watts doit présenter une efficacité de 11,1 lumens par watt ; une lampe de 100 watts, 13,9 lumens par watt ; une lampe de 200 watts, 15,8 lumens par watt. Ainsi, pour une lampe à incandescence normale, indiquer sa puissance revient à indiquer son flux total (dans certaines limites de tolérances). L'apparition des lampes à décharge et notamment des lampes fluorescentes a remis en question ce mode de désignation. L'efficacité lumineuse des nouvelles lampes n'est plus du tout la même que celle des lampes à incandescence : elle est, en général, très supérieure. C'est ainsi qu'une lampe fluorescente blanche de 40 watts émet 60 lumens par watt contre 11,1 pour une lampe à incandescence de même puissance, c'est-à-dire presque cinq fois plus. D'où la nécessité de préciser actuellement à la fois la consommation d'une lampe et le flux qu'elle émet.

Niveaux d'éclairage

Nous assistons depuis quelques décades à un relèvement très important des niveaux d'éclairage. Prenons l'exemple d'une salle de classe. En 1883, Cohn recommandait 10 lux ; en 1938, la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage préconisait 80 lux ; les recommandations toutes récentes de l'Association française des Eclairagistes (non encore publiées) invitent à ne pas descendre au-dessous de 150 lux. Enfin, aux Etats-Unis, les niveaux d'éclairage sont, en moyenne, trois à quatre fois supérieurs. Pourquoi de si grandes différences ? Parce que les critères ne sont pas les mêmes. Autrefois, on se basait uniquement sur le seuil d'acuité visuelle, qui s'exprime par l'angle sous lequel on voit le plus petit détail discernable, dans des conditions d'éclairage données ; seuil repéré par des tests du genre de ceux que pratiquent les oculistes avant de prescrire des verres. On a reconnu que ces tests ne correspondent pas à la vision des objets dans la pratique ; d'abord parce qu'on laisse à l'observateur tout le temps nécessaire à distinguer l'objet ; ensuite parce qu'on lui présente des détails en général bien contrastés.

Actuellement, la détermination des niveaux minima d'éclairage est fondée sur la « performance visuelle » et sur le « confort visuel ». La performance s'exprime par la rapidité et la précision dans l'accomplissement d'une tâche donnée. Quant au confort, point n'est besoin de le définir ; c'est une notion subjective, qui peut cependant faire l'objet de déterminations statistiques.

Pour caractériser une tâche visuelle, on fixe un certain nombre de paramètres : 1° la distance de l'objet aux yeux ; 2° la grandeur des détails de l'objet ; 3° le facteur de réflexion de l'objet ; 4° le contraste entre l'objet (ou ses détails) et le fond ; 5° le temps imparti à l'observation et, le cas échéant, la rapidité de mouvement de l'objet. De tout cela, il est tenu compte dans les recommandations relatives aux niveaux d'éclairage et, en particulier, dans celles, toutes récentes, de l'Association française des Eclairagistes. Nous en extrayons quelques valeurs, qui donnent une idée de ce que les éclairagistes considèrent comme des minima.

Salles de dessin : éclairage général, 100 lux ; sur les tables, 300 lux.

Dactylographie, comptabilité : 200 lux.

Bureaux privés et travaux généraux de bureau : 150 lux.

Bibliothèques : tables de lecture, 150 lux.

Laboratoires : 200 lux.

Tables d'opérations chirurgicales : 3000 lux.

Machines-outils et établis : éclairage général, 150 lux ; localisé, 1500.

Comme on le voit, il est souvent nécessaire de prévoir, outre un éclairage général, de niveau moyen, un éclairage localisé plus intense lorsque la tâche est délicate.

Comment utiliser ces recommandations pour établir un projet d'éclairage ? Partant de l'éclairage recommandé, on calcule le flux utile en multipliant le nombre de lux par le nombre de mètres carrés de la surface à éclairer. On majore ensuite la valeur obtenue de 30 à 50 %, pour tenir compte de la dépréciation qui se manifeste inévitablement à l'usage : poussière sur les appareils, usure des lampes, altération des réflecteurs.

Le flux utile n'est pas le flux demandé aux lampes ; il s'en faut de beaucoup. Entre la source de lumière et le plan utile, une quantité importante de lumière se perd par absorption sur les murs, le plafond, le plancher ou même, dans certains locaux industriels, par absorption par les fumées ou poussières dont l'air est chargé. Ceci nous amène à définir un *coefficient d'utilisation* qui est le rapport entre le flux utile et le flux émis par les sources de lumière. On comprend sans peine que ce coefficient varie beaucoup suivant les proportions et les dimensions du local, suivant la clarté des murs et du plafond et aussi suivant le mode d'éclairage : direct, indirect, semi-direct, semi-indirect, mixte. Dans le cas le plus favorable, qui est celui de la lampe sous réflecteur en tôle, plafond très clair, murs assez clairs, le coefficient d'utilisation n'atteint pas 0,7 ; c'est dire qu'il faut multiplier le flux utile requis par 1,5 environ pour connaître le flux demandé aux lampes. Dans les cas défavorables : éclairage indirect, murs et plafond sombres, on peut être amené à multiplier par dix ou même davantage le flux utile. Une valeur moyenne, assez courante, du coefficient d'utilisation, est 0,5 : la moitié du flux émis par les lampes est utilisée sur le plan de travail.

Eblouissement

Nous avons tous entendu des personnes se plaindre de fatigue, de maux de tête, qu'elles attribuent à l'éclairage et surtout à l'éclairage par fluorescence. Après élimination des plaintes non justifiées, il reste néanmoins un certain nombre

de cas où l'on doit mettre en cause, non pas les lampes elles-mêmes mais l'installation, qui est mal faite. Par exemple, une lampe placée au-dessus d'une machine à écrire (peinte en noir brillant) peut provoquer des reflets gênants. Il ne faut pas non plus placer une lampe dans le champ visuel et près des yeux. D'une façon générale, on doit prendre des précautions, suivre des règles. C'est ce qu'on appelle, en termes d'éclairagistes, « conditionner les luminances ».

Luminance est un mot nouveau qui remplace « brillance » ; la Commission Internationale de l'Éclairage a été amenée à faire cette substitution pour éviter des confusions avec la brillance dont parlent les physiologistes et qui a un sens différent. La luminance (ex-brillance) est l'intensité lumineuse par unité de surface de la source ou de l'objet éclairé qui renvoie à son tour de la lumière. Plus exactement, c'est le quotient de l'intensité lumineuse dans une direction par l'aire de la surface émettrice projetée sur le plan normal à la direction du rayonnement. Prenons, par exemple, deux lampes à incandescence identiques et plaçons-les, l'une dans un diffuseur de 20 cm de diamètre, l'autre dans un diffuseur de 30 cm. Si l'on regarde ces deux diffuseurs, placés côte à côte, on remarque sans peine que le petit diffuseur est plus éblouissant : sa luminance est plus élevée bien que l'intensité lumineuse dans la direction d'observation soit la même pour les deux diffuseurs.

Le terme de luminance s'applique non seulement aux lampes et luminaires mais aussi aux surfaces éclairées qui réfléchissent de la lumière et peuvent ainsi être considérées comme des sources secondaires.

L'auteur anglais Hopkinson distingue deux sortes d'éblouissement : celui qui diminue les facultés visuelles et celui qui provoque simplement une sensation de gêne ou une distraction. Ces deux phénomènes ne suivent pas les mêmes lois et sont probablement d'origine différente. C'est surtout aux faibles niveaux d'éclairage que les facultés visuelles peuvent être diminuées par éblouissement ; exemples : une lampe de poche qu'on allume dans un local obscur, un phare de bicyclette la nuit, sont aveuglants s'ils sont placés dans le champ visuel. Ces mêmes sources peuvent distraire de jour, mais elles ne diminuent pas les facultés visuelles.

Dans la pratique, c'est-à-dire dans les locaux suffisamment éclairés, c'est le deuxième type d'éblouissement qui est le plus fréquent. Il dépend de plusieurs paramètres.

1° La valeur absolue de la luminance : pour une intensité donnée, plus la source est étendue, moins elle éblouit.

2° Le contraste avec le fond, c'est-à-dire le rapport luminance de la source à luminance du fond. On peut tolérer des luminances élevées si le fond est presque aussi lumineux.

3° La position de la source ; il est recommandé de placer les luminaires assez haut, de façon que la ligne joignant le luminaire aux yeux fasse un angle supérieur à 30 degrés avec le plan horizontal passant par les yeux. Si cet angle est, par exemple, de 60 degrés, la luminance peut être vingt fois plus forte que pour un angle de 5 degrés.

4° La surface apparente de la source, c'est-à-dire l'angle solide sous lequel on voit la source. Cela revient à dire qu'il faut éloigner la source des yeux. Ce point est très important dans le cas des lampes fluorescentes.

5° La forme de la source : un tube fluorescent vertical éblouit plus qu'un tube horizontal placé à même distance.

6° Le nombre de sources. On peut être ébloui par un ensemble de sources même si chacune d'elles, prise isolément, n'éblouit pas.

Le conditionnement des luminances n'est pas complet s'il

est limité aux luminaires. Les murs, les meubles, les machines éblouissent souvent par réflexion. Ils sont vus sous un angle solide qui peut être très grand et se trouvent en général dans le champ visuel : les valeurs de luminance admissibles sont donc plus faibles que pour les luminaires. Nous avons vu plus haut que pour éviter l'éblouissement, une des conditions concerne les contrastes qu'il faut atténuer le plus possible. Remarquons cependant qu'un éclairage sans ombres est monotone ; on peut l'agrémenter en créant des contrastes de couleurs.

Il resterait beaucoup à dire au sujet du conditionnement des luminances : sujet d'une grande complexité qui, dans plusieurs pays, fait actuellement l'objet d'études très poussées. De telles études sont longues car elles n'ont de valeur que si elles portent sur un grand nombre de personnes, placées dans des conditions d'éclairage identiques. La sensation de confort varie beaucoup d'une personne à l'autre (suivant l'âge, par exemple), aussi faut-il s'entourer de multiples précautions pour que les conclusions que l'on tire correspondent bien à un sujet moyen, à la moyenne des cas qui se présentent dans la pratique. Il ne suffit pas de multiplier les observations sur un grand nombre de personnes ; il faut, en outre, faire varier l'intensité des sources, la luminance de la tâche visuelle, de son entourage, du fond, et encore bien d'autres facteurs.

Pour résumer ce que nous venons de dire sur les conditions d'un bon éclairage, nous traiterons sommairement un cas pratique, celui de l'éclairage d'un bureau de dactylographie. Dans un cas comme celui-ci on recherche l'économie, l'efficacité. Il faut donc que le local ait un « coefficient d'efficacité » élevé. On choisira des armoires claires se détachant sur les murs clairs par contraste de couleurs ; plafond blanc. Quel luminaire choisir ? Un appareil semi-direct (un peu plus de la moitié du flux dirigé vers le bas, le reste vers le haut) conviendra ; choisir un appareil de nettoyage aisé, la poussière absorbant bien inutilement la lumière.

Les éclairagistes nous conseillent de prévoir dans un bureau de dactylographie un éclairage général de 200 lux. Supposons que notre local ait une superficie de 40 mètres carrés. Nous aurons besoin d'un flux utile de $200 \times 40 = 8000$ lumens, valeur que nous devons multiplier par 1,3 pour tenir compte de la dépréciation à l'usage ; il nous faudra 10 400 lumens sur le plan utile. Pour les obtenir, nous devons demander aux lampes 20 000 lumens, si nous supposons que le coefficient d'utilisation est de 0,52 ($10\ 400 : 0,52 = 20\ 000$).

Ces 20 000 lumens se répartiront entre un certain nombre de lampes groupées elles-mêmes par luminaires. Si nous choisissons des lampes fluorescentes de flux unitaire de 2000 lumens, il nous faudra 10 lampes. Comme elles doivent obligatoirement être montées par paires (compensation du facteur de puissance), nous aurons à prévoir au maximum 5 luminaires. On peut aussi utiliser deux luminaires à quatre lampes, plus un à deux lampes ; cela dépend de la hauteur du plafond et de l'agencement du local. Encore une règle à observer : l'écartement des luminaires doit être plus petit que 1,5 fois la hauteur des luminaires au-dessus du plan utile ; sinon le plan de travail n'est pas uniformément éclairé. Ayant choisi le nombre de luminaires, leur implantation, il nous restera à fixer leur orientation : on devra tenir compte de la position des tables et des machines, de façon à éviter les reflets gênants. Quant à la position en hauteur des luminaires, à laquelle nous avons fait allusion plus haut, elle dépend évidemment de la hauteur du plafond ; on placera les luminaires assez haut pour que, de toutes les places, ils soient au moins à 30 degrés au-dessus du plan horizontal passant par les yeux.