



HAL
open science

La limite de sensibilité de l'œil et le minimum de puissance perceptible visuellement

H. Buisson

► **To cite this version:**

H. Buisson. La limite de sensibilité de l'œil et le minimum de puissance perceptible visuellement. J. Phys. Theor. Appl., 1917, 7 (1), pp.68-74. 10.1051/jphystap:01917007006801 . jpa-00242001

HAL Id: jpa-00242001

<https://hal.science/jpa-00242001v1>

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.

**LA LIMITE DE SENSIBILITÉ DE L'ŒIL ET LE MINIMUM DE PUISSANCE
PERCEPTIBLE VISUELLEMENT ;**

Par H. BUISSON.

La détermination de la limite de sensibilité de l'œil, du seuil de la vision, évaluée soit en unités photométriques, soit en unités mécaniques, a été tentée à diverses reprises. Les résultats en ont été assez discordants. Depuis peu de temps seulement, l'ordre de grandeur en a été assez bien fixé. Il est d'ailleurs évident qu'une mesure de la limite d'une sensation n'est pas susceptible d'une grande précision.

Sans vouloir faire un exposé historique, je rappelle d'abord les mesures de Langley (1). Il a le premier évalué le seuil en unités énergétiques et fait cette évaluation pour diverses radiations. Il est certain que l'œil n'est pas également sensible pour toutes les couleurs, et qu'il faut préciser la radiation que l'on considère, ou bien se rapporter à celle qui possède le maximum d'action physiologique.

Langley utilisait un spectre dans lequel l'énergie en chaque point était connue ; ce spectre était projeté sur un écran percé d'une petite ouverture pour permettre à la lumière d'une couleur voulue de pénétrer dans l'œil. On affaiblissait l'intensité dans une proportion connue jusqu'au minimum de perception. Dans cette façon de faire, les unités photométriques n'interviennent pas. On ne peut pas exprimer le résultat en calculant la distance limite à laquelle une bougie est visible.

Langley trouve que pour la radiation 5500, qui est celle du maximum de sensibilité, il faut :

$$28 \cdot 10^{-10} \text{ erg.-sec.}$$

pour produire une sensation lumineuse perceptible. Il admet une surface de 70 millimètres carrés, pour l'ouverture de la pupille, soit un diamètre de $9^{\text{mm}},4$ (2).

Dans son traité d'optique, Drude a donné une autre évaluation, basée sur des mesures de rayonnement de Tumlirz et d'Angström. Il admet sans discussion les points de départ suivants : la limite de sensibilité est l'étoile de sixième grandeur, elle équivaut à une bougie Hefner à 41 kilomètres. L'ouverture adoptée pour la pupille, 3 millimètres de diamètre, valeur bien faible, donne alors le flux lumineux perçu. On le transforme en énergie en le multipliant par un coefficient appelé *équivalent mécanique de la lumière*. C'est ici qu'une très grosse erreur est faite. Drude prend pour valeur de cet équivalent le rapport de l'énergie rayonnée par une source lumineuse entre les radiations extrêmes perçues par l'œil, à l'intensité lumineuse de cette source. Il est clair que cela n'a aucun sens. Les radiations extrêmes ne sont pas fixées et varient énormément avec

(1) LANGLEY. *Philosophical Magazine*, 1889.

(2) Cette surface est prise dans : DU BOIS-REYMOND, *Nature*, p. 15 ; mai 1888 ; — TUMLIRZ, *Annalen der Physik*, t. XXXVIII, p. 640 ; 1889.

l'intensité. D'un spectre à un autre, la répartition d'énergie n'est pas la même ; on a autant de valeurs qu'on prend de sources différentes. Il faut, pour avoir une mesure correcte de cet équivalent, ou bien faire intervenir la sensibilité de l'œil variable dans le spectre, ou bien n'opérer que sur la radiation du maximum d'intensité. Cet équivalent mécanique de la lumière est la puissance qu'il faut dépenser pour obtenir une bougie ou un lumen de la lumière qui agit le plus sur l'œil, soit $\lambda = 5500$. En 1911, Fabry et moi ⁽¹⁾ avons donné la valeur 0,018 watt par bougie soit 0,00143 watt par lumen. Depuis, de meilleures mesures faites au Bureau of Standards par Ives, Coblentz et Kingsbury ⁽²⁾, puis reprises par Coblentz et Emerson ⁽³⁾ ont donné la valeur voisine 0,00162 watt par lumen, soit 1,62 erg. sec. par centimètre carré et par lux, valeur qui peut être considérée comme bien connue.

Le résultat du calcul de Drude était :

$$60 \cdot 10^{-10} \text{ erg.-sec.}$$

pour le minimum de puissance perceptible, mais s'il avait admis pour le diamètre de la pupille une valeur plus exacte que 3 millimètres soit 8 millimètres il aurait trouvé :

$$420 \cdot 10^{-10} \text{ erg.-sec.}$$

Ce calcul de Drude a été repris récemment par Ives ⁽⁴⁾. Le point de départ, l'étoile de sixième grandeur, prise comme limite, est encore le même, mais une meilleure évaluation photométrique de l'étoile, un équivalent mécanique de la lumière correct, une ouverture de pupille plus vraisemblable (6 millimètres) le conduisent à évaluer le minimum d'énergie perçue par l'œil à :

$$38 \cdot 10^{-10} \text{ erg.-sec.}$$

La question a alors été reprise d'une manière beaucoup plus directe par Russell ⁽⁵⁾ qui a utilisé une détermination expérimentale

(1) FABRY et BUISSON, *Comptes rendus*, t. CLIII, p. 254 ; 1911.

(2) IVES, COBLENTZ et KINGSBURY, *Physical Reviews*, t. V, p. 269, 1915 et t. VI, p. 319.

(3) COBLENTZ et EMERSON, *Scientific Papers of the Bureau of Standards*, 1917.

(4) IVES, *Astrophysical Journal*, t. XLIV, p. 424 ; 1916.

(5) RUSSELL, *Astrophysical Journal*, t. XLV, p. 60 ; 1917.

tales de la limite de sensibilité, faite par H. D. Curtis ⁽¹⁾ sur la grandeur maximum visible des étoiles. En se mettant soigneusement à l'abri des étoiles brillantes et de la lumière diffusée par le ciel. Curtis a pu observer des étoiles de grandeur 8,2 et même 8,5. Cela recule sensiblement la limite jusqu'ici admise, de la sixième grandeur. Partant de ce nombre, de l'équivalent mécanique de la lumière, de l'évaluation actuellement bien connue d'une grandeur d'étoile en unités photométriques (une bougie à un kilomètre est de grandeur 0,82), et d'une valeur de la surface de la pupille, 57 millimètres carrés, obtenue par Stavenon ⁽²⁾ en photographiant au magnésium l'œil maintenu dans l'obscurité, Russell obtient :

$$7,7 \cdot 10^{-10} \text{ erg.sec.}$$

Il a confirmé cette valeur par des mesures faites par lui d'éclairément d'écrans par des étoiles, mesures qui conduisent à des nombres très voisins.

Russell exprimait le désir que des mesures directes fussent entreprises au laboratoire. J'avais à cette même époque fait de telles mesures, mais avant de les exposer, je donnerai d'abord les résultats de Reeves ⁽³⁾, qui, à la suggestion de Russell, avait aussi fait des mesures directes.

Sa méthode consiste à éclairer une ouverture fermée par un verre opale, formant source secondaire d'intensité mesurable, et d'interposer sur le faisceau éclairant un coin absorbant jusqu'à obtenir la limite de la sensation. Connaissant, pour une distance donnée de l'œil, l'épaisseur du coin absorbant correspondant à la limite, on en déduit la valeur de l'énergie reçue. Reeves a fait d'autre part des mesures directes de la surface de la pupille, dont les résultats sont voisins du nombre adopté par Russell. La valeur qu'il donne est

$$19,5 \cdot 10^{-10} \text{ erg.sec.}$$

comme moyenne de trois observateurs et :

$$17,1 \cdot 10^{-10} \text{ erg.sec.}$$

comme sa limite personnelle.

⁽¹⁾ H.-D. CURTIS, *Lick Observatory bulletin*, t. II, p. 67; 1901.

⁽²⁾ STEAVENSON, *Journal of the british astronomical association*, t. XXVI, p. 303; 1916.

⁽³⁾ Prentice REEVES, *Astrophysical Journal*, t. XLVI, p. 167; 1917.

C'est par une méthode assez différente que j'ai obtenu une autre valeur de la limite de sensibilité de la vision.

J'avais entrepris des mesures photométriques sur des écrans phosphorescents, de très petites dimensions, analogues à ceux qui sont employés pour rendre visibles dans l'obscurité certains objets tels que des cadrans de montre. Ces écrans sont recouverts de sulfure de zinc rendu luminescent par addition d'un sel de radium. Leur éclat est très faible, ils constituent des sources très peu intenses, et comme leur couleur correspond à peu près au maximum de sensibilité de l'œil dans le spectre, ils se prêtent facilement à la détermination de la limite de la vision.

Ces mesures photométriques avaient été entreprises pour des comparaisons relatives d'éclat. Le photomètre employé présente des analogies avec le microphotomètre Fabry et Buisson ⁽¹⁾. Une image de la surface phosphorescente est projetée sur la pupille par une lentille, après réflexion sur la face argentée d'un cube photométrique de façon que l'œil voie une plage uniforme, d'éclat égal à celui de la source. Par transmission à travers la face du cube, à l'aide d'une seconde lentille identique à la première, l'image d'une ouverture diffusante éclairée par une source auxiliaire, est aussi projetée dans l'œil, qui voit une seconde plage contigüe à la première. On obtient l'égalité d'éclat des deux plages en faisant varier d'une manière connue l'éclairage de l'ouverture, soit par éloignement de la source auxiliaire, soit par emploi de polariseurs. Un filtre vert, lame de gélatine teintée, est interposée sur le faisceau de comparaison pour obtenir l'égalité de couleur entre les deux faisceaux.

Pour obtenir des mesures en valeur absolue, on étalonne le photomètre en remplaçant la surface phosphorescente par un écran diffusant par transmission qui reçoit un éclairage connu. On ajoute alors aussi de ce côté un filtre identique à celui qui est sur le faisceau variable. On a préalablement mesuré la transmission de l'écran diffusant et celle du filtre vert.

On trouve ainsi que l'éclat des surfaces phosphorescentes sur lesquelles j'ai opéré varie de 2 à 4. 10^{-6} bougies par centimètre carré, soit de

6 à 12 microlamberts.

Ces petits écrans, qui ont la forme de disques de 2,5 et 5 milli-

⁽¹⁾ BUISSON et FABRY, *Comptes rendus*, t. CLVI, p. 389 ; 1913.

mètres de diamètre, sont alors examinés dans l'obscurité, à des distances croissantes et l'on mesure la distance maxima à laquelle on les voit. On a pris les précautions nécessaires pour éviter les erreurs d'imagination : un aide déplace l'écran et l'observateur annonce le mouvement exécuté, s'il l'a perçu ; ou bien deux disques sont placés sur une même feuille de carton et l'observateur annonce la direction de la ligne qui les joint.

Les observations n'ont été faites qu'en nombre très limité, par une seule personne ayant une vue moyenne et après un séjour dans l'obscurité d'environ 15 minutes. Le tableau suivant en donne les résultats.

Diamètre du disque	Éclat en bougies par cm ²	Intensité en bougies	Distance maxima de visibilité	Distance de visibilité d'une bougie
2,5 mm.	1,7 10 ⁻⁶	8,4 10 ⁻⁸	7,7 m.	26,5 km.
5,06 mm.	4,15 10 ⁻⁶	83,0 10 ⁻⁸	26,0 m.	28,5 km.
5,12 mm.	2,77 10 ⁻⁶	57,2 10 ⁻⁸	20,0 m.	26,4 km.

Une façon simple d'exprimer ces résultats est de calculer la distance maxima à laquelle est visible une bougie. C'est ce que donne la dernière colonne du tableau. Les diverses valeurs sont en assez bon accord ; leur moyenne est 27 kilomètres.

Cette distance est beaucoup plus grande que celle qui était admise jusqu'ici, 11 kilomètres environ. Il faut d'ailleurs dire qu'une bougie réelle ne serait pas visible à cette distance de 27 kilomètres tant à cause de l'absorption atmosphérique, que par suite du phénomène de Purkinje, assez notable avec la couleur rouge de la bougie.

On peut aussi traduire facilement ces mêmes résultats en grandeur d'étoile. La grandeur stellaire d'une bougie à un kilomètre est actuellement bien déterminée, égale à 0,82. Une bougie à 27 kilomètres est donc 27² fois moins brillante, c'est-à-dire que sa grandeur stellaire est supérieure de 7,15 (1), elle sera donc de :

$$7,15 + 0,82 = 7,97,$$

soit sensiblement de huitième grandeur, valeur bien voisine de celle

(1) L'échelle des grandeurs d'étoiles est choisie de telle sorte que d'une grandeur à la suivante, le rapport des éclats a pour logarithme 0,4. Ici, le rapport des éclats de la bougie à 1 et à 27 kilomètres est 27². Le rapport des grandeurs sera donc :

$$\frac{2 \log 27}{0,4} = 7,15.$$

qui est donnée par Russell et obtenue par une voie toute différente.

La sixième grandeur n'est donc pas la limite de visibilité, comme il a été longtemps admis ; il n'est pas douteux que c'est l'éclat du ciel qui empêche de voir les étoiles plus faibles.

Il faut remarquer que les mesures que je rapporte ont été faites dans des conditions qui justifient la comparaison des résultats avec ceux qu'on peut avoir sur les étoiles : les surfaces lumineuses étaient en effet, à la limite de sensibilité, vues sous des angles très petits, de l'ordre de la minute, c'est-à-dire sous les mêmes dimensions angulaires que les étoiles.

Pour transformer en puissance la quantité de lumière reçue par l'œil à la limite de visibilité, il convient d'adopter les mêmes facteurs qu'ont employés Russell et Reeves, soit : 1,62 ergs par seconde et par centimètre carré pour un éclaircissement de un lux (0,00162 watt par lumen) et 0,57 centimètres carrés (8^{mm},5 de diamètre) pour l'ouverture de la pupille largement dilatée dans l'obscurité. On trouve alors :

$$12,6 \cdot 10^{-10} \text{ erg.-sec.}$$

valeur intermédiaire entre celles de Russell et de Reeves.

On a ainsi un groupe de trois déterminations faites dans des conditions expérimentales différentes, mais qui sont comparables, puisque toutes trois ont été faites par des procédés purement photométriques, et que la transformation en unités d'énergie a utilisé pour les trois mesures les mêmes valeurs numériques des coefficients de transformation.

Il est alors facile de calculer que la faible quantité d'énergie représentée par l'erg, travail d'un milligramme sur un centimètre, si elle était entièrement transformée en énergie rayonnante de longueur d'onde 5.500, pourrait être perçue par l'œil pendant vingt-cinq années. C'est pendant plus d'un milliard d'années qu'une petite calorie pourrait alimenter une émission visible.

L'œil apparaît donc comme un organe d'une sensibilité extrême probablement plus de mille fois plus sensible que l'oreille, et bien supérieur à nos récepteurs artificiels les plus délicats.