



HAL
open science

Application aux signaux de la loi de perception des lumières brèves à la limite de leur portée

A. Blondel, J. Rey

► **To cite this version:**

A. Blondel, J. Rey. Application aux signaux de la loi de perception des lumières brèves à la limite de leur portée. J. Phys. Theor. Appl., 1911, 1 (1), pp.643-655. 10.1051/jphystap:0191100108064301 . jpa-00241711

HAL Id: jpa-00241711

<https://hal.science/jpa-00241711>

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.

**APPLICATION AUX SIGNAUX DE LA LOI DE PERCEPTION DES LUMIÈRES BRÈVES
A LA LIMITE DE LEUR PORTÉE**

Par MM. A. BLONDEL et J. REY.

La loi nouvelle de perception des lumières brèves⁽¹⁾ présente un intérêt particulier par les importantes applications dont elle est susceptible dans la technique des signaux à éclats. Ces signaux sont de deux sortes :

1° Les signaux de télécommunication, qui sont destinés à télégraphier, sous forme optique, au moyen d'éclats brefs ou longs, les lettres de l'alphabet Morse;

2° Les signaux d'orientation, qui permettent à un observateur de se diriger vers un fanal, ou d'en relever la direction.

Signaux de télécommunication. — Dans le cas des signaux de

(1) Voir ce volume, p. 530.

télégraphie optique, la source de lumière employée débitant un flux continu pendant tout le temps qu'on l'emploie, on ne réalise aucune économie d'éclairage en réduisant plus ou moins la durée des signaux ⁽¹⁾; cette durée peut donc être réglée uniquement d'après les conditions de travail les meilleures pour les observateurs. Or, d'après M. André Broca ⁽²⁾, il y a deux limites à observer pour ce genre de signaux :

Il faut d'abord laisser entre les signaux un temps suffisant (qui varie de $1/100$ de seconde pour les très fortes lumières à $2/10$ ou $3/10$ de seconde pour les faibles lumières), pour que la sensation lumineuse s'affaiblisse entre deux signaux assez pour éviter la persistance et permette par conséquent de les distinguer.

Il faut, d'autre part, donner aux signaux une durée suffisante pour la bonne perception, soit au moins $2/10$ de seconde pour les faibles distances et $5/10$ à $6/10$ de seconde pour les grandes distances.

Le même auteur estime d'ailleurs, d'après ses expériences citées plus haut, que les lumières intenses et trop brèves (inférieures par exemple à $1/10$ de seconde) occasionnent des images accidentelles, par effet de fatigue, parce qu'elles ne laissent pas aux réflexes rétinieniens de défense le temps de se produire; la durée minima du signal le plus court en bonne lumière ne doit pas descendre pour ce motif au-dessous de $3/10$ de seconde. On pourrait cependant, croyons-nous, s'affranchir de cette crainte de l'image accidentelle, en faisant porter par les télégraphistes, lorsqu'ils ont à faire des réceptions à trop faibles distances, des lunettes légèrement fumées. Mieux encore, on pourrait munir les observateurs d'une lunette à œil-de-chat réglable, leur permettant de réduire éventuellement l'éclat à l'intensité la meilleure en fonction de sa durée; ce serait un procédé, semble-t-il, plus logique d'éviter la fatigue d'un éclat que d'en allonger la durée au détriment de la vitesse de débit télégraphique.

Signaux d'orientation. — Dans le cas des signaux d'orientation, il n'y a plus à se préoccuper de la durée de persistance, parce que l'intervalle réalisé entre les signaux par les procédés de concentration est toujours assez considérable; il ne descend pas en pratique

⁽¹⁾ Il en serait autrement si l'on employait pour la production de ces signaux une lampe à incandescence à filaments métalliques, ne recevant de courant que pendant l'émission du signal, ou un bec de gaz alternativement allumé et éteint.

⁽²⁾ *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, conférence du dimanche 26 janvier 1902.

au-dessous de deux secondes ; même si on le réduit à une seconde, cette éclipse est beaucoup plus longue qu'il n'est nécessaire pour éviter la persistance.

On n'a pas non plus à s'inquiéter des images accidentelles, car l'observateur ne regarde le signal que lorsqu'il a besoin de prendre un relèvement, opération qui, comme on le verra plus loin, n'exige que fort peu de temps. La seule condition à réaliser est d'augmenter le plus possible la portée utile des signaux. C'est précisément dans ce but, qu'au lieu d'une lumière permanente, on produit des signaux intermittents par l'emploi de projecteurs ou d'appareils lenticulaires ⁽¹⁾ tournants ; ces derniers, concentrant dans l'espace le flux total de la source de lumière en un certain nombre de *faisceaux* que le mouvement de rotation projette successivement sur l'œil de l'observateur, produisent, au point de vue de l'utilisation de l'énergie lumineuse, un effet équivalent à celui d'un système accumulateur, permettant d'emmagasiner pendant le temps des éclipses le flux lumineux produit d'une façon continue par la source de lumière et de le lâcher seulement par à-coups.

Au point de vue photométrique, il ne faut pas considérer ici le flux total émis par la source, mais seulement celui qui est reçu par la pupille de l'observateur, et qui sera évalué en multipliant par l'ouverture de cette pupille le nombre de lux-secondes d'excitation qu'elle subit pendant la durée de l'éclat. Ce calcul peut être fait de la manière suivante : en supposant que la source employée dans l'appareil optique ait dans sa partie utile la forme d'un cylindre de diamètre D et un éclat intrinsèque uniforme i ⁽²⁾, l'appareil optique produit, en plus de la concentration du flux en faisceaux dans le plan de l'horizon, une concentration verticale proportionnelle à la hauteur utile ⁽³⁾ de sa surface rayonnante h . Si la lumière était distribuée uniformément autour de l'horizon, l'appareil produirait une intensité photométrique moyenne horizontale :

$$I_{mh} = khDi,$$

et l'éclairement reçu sur la pupille de l'observateur serait représenté

⁽¹⁾ Invention de l'illustre Fresnel, perfectionnée par Bourdelles, qui a créé les appareils à éclairs instantanés.

⁽²⁾ Ces hypothèses sont un peu théoriques et ne sont pas rigoureusement réalisées dans la pratique, mais elles servent utilement à préciser les considérations que nous exposons ici.

⁽³⁾ C'est-à-dire celle des surfaces extérieures d'où rayonne de la lumière.

par une expression correspondante :

$$(1) \quad E_{mh} = I_{mh}f(x) = khDf(x);$$

en appelant k un coefficient d'affaiblissement représentant les pertes subies par les rayons au passage de l'appareil, x la distance de l'observateur, et $f(x)$ la fonction d'affaiblissement par l'éloignement.

Cette fonction est théoriquement de la forme $\frac{b^x}{x^2}$, en appelant b le coefficient de transparence de l'atmosphère.

La concentration produite d'autre part dans le plan horizontal par l'appareil optique ayant pour effet de produire un éclat à certains intervalles, par exemple toutes les T secondes seulement, la « quantité d'éclairement (1) » L reçue par la pupille pendant cet éclat résulte de l'accumulation pendant T secondes et a pour expression :

$$(2) \quad L = E_{mh}T = khDiTf(x).$$

Cette quantité est proportionnelle à l'excitation de la rétine, et peut être prise comme mesure de cette excitation.

Parmi les quantités qui figurent dans cette formule, on ne dispose pas de $f(x)$; les autres sont, suivant les cas, les données du problème à résoudre : si l'appareil est construit, h et k sont donnés; si la source est choisie, i et D sont donnés. Quant à l'intervalle T entre les éclats, il a été fixé par des considérations généralement étrangères à la question de la portée (2).

La seule variable qui reste et dont nous devons chercher à préciser l'influence, c'est la durée t pendant laquelle se produit l'éclat. En

(1) On appelle « quantité de lumière » en photométrie le produit du flux lumineux par le temps pendant lequel il est reçu. Nous appellerons de même « quantité d'éclairement » le produit de l'éclairement par le temps.

(2) L'expérience a démontré que, pour permettre le relèvement du point d'émission des signaux, il ne faut pas que l'observateur en détourne le regard, et que ce résultat ne peut être atteint que si l'intervalle entre les éclats reste inférieur à environ cinq secondes; les essais que nous rapporterons plus loin ont montré qu'au-dessous de cette grandeur limite, le relèvement peut être fait d'autant plus rapidement que les signaux sont plus rapprochés, mais ne demande qu'un nombre à peu près constant de signaux reçus par l'œil. Il serait souhaitable, pour faciliter le maintien de l'attention, de ne pas dépasser entre eux une durée de deux à trois secondes, mais on réduit ainsi la durée d'accumulation et, par conséquent, la quantité de lumière disponible dans chaque éclat. On se trouve donc en présence de deux desideratums opposés, entre lesquels on peut choisir suivant les circonstances le meilleur. On les concilie au mieux, par exemple, au moyen de certains groupements d'éclats.

effet, par suite de la facilité que l'on a de varier la construction et la vitesse de rotation des appareils, on est maître, tout en conservant entre les deux signaux le même intervalle, et en attribuant à chacun un nombre de lux-secondes Et constant, de faire varier dans de larges limites la *durée* pendant laquelle le faisceau passe devant la pupille. Nous supposons que le faisceau est homogène.

On démontre aisément ⁽¹⁾ que cette durée d'éclat t s'exprime en fonction de l'intervalle des éclats T , du diamètre de la source D , de la longueur focale de l'appareil optique R et du nombre de faisceaux n de ce dernier par la formule

$$(3) \quad t = \frac{nTD}{2\pi R}.$$

D'après ce qui précède, il convient de distinguer d'abord deux cas, suivant que l'on suppose donné l'appareil optique ou la source.

PREMIER PROBLÈME. — *Étant donné un appareil optique existant qui permette de subdiviser le flux total d'une source de lumière en éclats concentrés rapides toutes les T secondes, quelle est la source de lumière qui permettra de tirer le rendement maximum de cet appareil ?*

Il est bien évident que c'est la source de lumière la plus puissante, et sans qu'il y ait à proprement parler de limite à donner à sa puissance. Si donc la source de lumière a un éclat intrinsèque i donné d'avance et qu'on ne puisse pas dépasser, il faut augmenter son diamètre D de manière à augmenter le plus possible la durée de chaque éclat (qui est proportionnelle à ce diamètre) ; l'éclairage reçu par l'œil croîtra suivant la même proportion. On n'est limité dans cette voie que par la dépense excessive qu'entraîne l'emploi de sources de lumière très puissantes, et par la réduction de rendement spécifique de la source elle-même ; car, pour certaines sources de lumière telles que les manchons Auer, l'augmentation de volume est accompagnée d'une diminution de l'éclat intrinsèque.

Par contre, toute augmentation de diamètre d'une source de lumière obtenue sans augmentation de flux (par exemple par interposition de verres diffuseurs) n'ayant pas pour effet d'augmenter le flux lumineux, mais seulement la durée de l'excitation aux dépens de son intensité, serait nuisible pour le rendement de l'appareil optique.

(1) Cf. *International Maritime Congress* 1893, p. 46.

En effet, l'impression limite, à grande distance, dépendant du produit :

$$(4) \quad (E - E_0) t = Et - E_0 t = L - E_0 t,$$

où L et E_0 sont des constantes, on voit qu'elle diminue au fur et à mesure que t augmente. Il y a donc intérêt à réduire si on le peut les dimensions de la source lumière produisant un flux donné, en augmentant l'éclat intrinsèque i aux dépens du diamètre D (1).

DEUXIÈME PROBLÈME. — *Étant donnée une source de lumière et l'intervalle T entre les éclats dans lesquels doit être concentré son flux total, quelle est la durée d'éclat t la plus avantageuse à réaliser par l'appareil optique, pour obtenir le rendement maximum de ladite source de lumière ?*

Ce problème est celui que doit se poser le constructeur de l'appareil optique, pour savoir s'il y a intérêt à augmenter ou à réduire la durée des éclats. La quantité d'éclairement $L = Et$ lux-secondes disponible pour l'éclat étant constante, et proportionnelle au flux total réparti sur l'horizon divisé par le nombre des éclats, le raisonnement fait ci-dessus à la fin du premier problème démontre que l'effet utile à grande distance pour la perception minima sera d'autant plus faible qu'on allongera davantage la durée de l'éclat ; on doit concentrer le flux dans le temps le plus bref possible, sans qu'il y ait aucune limite inférieure pour cette durée de concentration (2).

(1) La remarque faite à la page 548 (formule 5) montre qu'on réalise un progrès bien plus grand en augmentant l'éclat intrinsèque d'une source, par exemple dans un rapport m , qu'en augmentant la durée dans le même rapport m ; car la multiplication de la durée par m augmente l'intensité apparente d'une lumière fixe équivalente seulement dans le rapport :

$$\frac{mt}{0,21 + mt} : \frac{t}{0,21 + t} = \frac{m(0,21 + t)}{0,21 + mt},$$

expression qui tend d'autant plus vers l'unité que t est plus grand ; tandis que si l'on multiplie par m l'éclat intrinsèque de la source, l'intensité de la lumière fixe équivalente est augmentée dans le même rapport m ; par exemple, si $m = 2$, l'intensité du feu à grande distance sera doublée. Au contraire, si l'on double le diamètre et par suite la durée t d'un feu ayant, auparavant, une durée de 0,21, par exemple, l'intensité apparente sera seulement majorée dans le rapport $\frac{2}{3} : \frac{1}{2} = \frac{4}{3}$, de sorte que l'augmentation ne sera que 33 0/0, au lieu de 100 0/0.

Dans certains appareils à éclairage intermittent, l'accumulation de lumière est remplacée par une accumulation de gaz comprimé ; la conclusion reste analogue. Il faut augmenter l'intensité absolue et la consommation du brûleur au dépens de la durée d'allumage de ce brûleur.

(2) La formule 3 montre qu'on dispose à cet effet de deux moyens : d'une part, augmenter la longueur focale R de l'appareil ; ce qui a pour effet de concentrer

Un autre avantage important, que l'un de nous a déjà mis en évidence dès 1893 ⁽¹⁾, c'est que plus les signaux sont brefs, plus leur visibilité augmente rapidement quand l'observateur, partant de la limite de la portée, se rapproche vers le point d'émission.

En effet, l'impression lumineuse croît plus vite au début de l'action de la lumière qu'après un certain temps. Il y a donc avantage à ce que la durée de perception soit comprise dans la partie des courbes des sensations voisines de l'origine et presque rectiligne, plutôt que dans la partie courbe par laquelle la sensation se rapproche de la ligne horizontale.

Ce raisonnement est confirmé *a fortiori* par la forme des courbes de MM. Broca et Sulzer (*fig. 1*, p. 531) qui, pour des lumières fortes, s'élèvent d'abord bien au-dessus de la sensation permanente ⁽²⁾.

Il y a peut-être aussi intérêt à réduire la durée, pour un autre motif, qui nous a été signalé par M. Georges Guy : c'est afin d'empêcher le mouvement de la rétine pendant le passage de l'éclat, de façon que l'image du point lumineux accumule son excitation sur un seul et même point de la rétine ; sinon elle n'atteint en aucun point de celle-ci son maximum d'effet utile.

En définitive, il y a toujours avantage à réduire la durée d'éclats sans qu'il y ait lieu de fixer une limite de durée minima ; la limite est, en réalité, fixée par les conditions de réalisation de la source de lumière et des appareils.

TROISIÈME PROBLÈME. — *Etant donné le nombre d'éclats par seconde, réaliser le meilleur appareil et la meilleure source de lumière pour la production des signaux.*

Ce problème qui est plus général que les deux précédents, est en réalité un problème purement économique, analogue à celui qu'a résolu autrefois lord Kelvin pour le transport le plus économique

l'éclat dans un angle plus petit (inversement proportionnel à cette longueur focale) ; d'autre part, réduire le nombre n de faisceaux de l'appareil optique et augmenter leur vitesse de rotation, ou nombre de tours par seconde N , en proportion inverse, de façon à rétablir le même nombre d'éclats par seconde, $t = Nn$, qui est imposé.

⁽¹⁾ *Loc. cit.*

⁽²⁾ Il suffit de prendre sur la courbe d'une lumière faible, correspondant à un éclat E , le point d'impression apparente correspondant à une durée t quelconque, puis de chercher le point correspondant à la durée n sur la courbe d'éclairement nE pour voir que l'impression apparente est plus grande dans le deuxième cas que dans le premier.

de l'énergie électrique. On doit chercher à réduire au minimum les frais annuels nécessaires pour réaliser la portée cherchée.

Ces frais annuels comprennent : d'une part, l'amortissement et l'intérêt du capital engagé dans l'appareil de la source de lumière (ces derniers sont en général peu importants par comparaison) ; d'autre part, les frais d'éclairage, c'est-à-dire ceux qui correspondent à la consommation d'énergie et à l'entretien de la source de lumière, et qui sont fonction du nombre d'heures annuel B d'emploi.

Si l'on appelle A le capital engagé, f le taux d'intérêt et d'amortissement, p le prix de revient de l'heure d'éclairage, on doit chercher à rendre minimum la somme $Af + Bp$, tout en satisfaisant à l'équation de condition :

$$(4) \quad Et = E_0 (a + t).$$

En remplaçant Et par son expression (7) calculée plus haut, on obtient la condition plus explicite :

$$(5) \quad E_0 (a + t) = E_m h T = khDiTf(x),$$

ou d'après (8) :

$$(6) \quad E_0 \left(a + \frac{nTD}{2\pi R} \right) = khDiTf(x) = k'RDiTf(x),$$

en remarquant que h est en général proportionnel à la longueur focale R de l'appareil optique.

Le prix de l'appareil croît en raison directe de R^2 , et est très variable suivant le mode de construction.

On voit que le problème est trop complexe pour être résolu sous la forme algébrique. D'ailleurs, les différentes sources de lumière (pétrole, gaz, incandescence, arc électrique, etc...) qu'on peut employer sont très disparates dans leurs propriétés caractéristiques D , i , et leur consommation. Elles présentent des prix de revient très variés.

Le problème ne peut donc, en général, être résolu que par des comparaisons successives de plusieurs solutions concrètes préalablement étudiées au point de vue technique, lequel sort tout à fait du cadre de cette étude. Il nous suffit simplement d'indiquer que ce problème existe, et que l'un des éléments essentiels de la solution est fourni par l'équation de condition que nous venons d'indiquer.

Cas où l'éclat n'a pas une intensité photométrique constante pendant sa durée. — Toutes les déductions qui précèdent ont été établies, pour simplifier, dans le cas théorique d'un éclat conservant

une intensité constante pendant toute sa durée d'application sur l'œil ; mais, en pratique, cette condition n'est jamais réalisée. En particulier, les appareils optiques destinés à l'accumulation de la lumière ne produisent que des faisceaux imparfaitement homogènes, de sorte que pendant le passage d'un éclat l'éclairement produit sur l'œil part de zéro, s'accroît rapidement, reste plus ou moins constant pendant un certain temps et décroît ensuite ; et la variation suit une loi assez arbitraire, dépendant des sources et des appareils.

Le problème devient alors trop complexe pour être traité par les méthodes qui précèdent, dans la perception à faible distance, c'est-à-dire lorsque l'intensité de la sensation dépasse le seuil ; mais, lorsqu'il s'agit simplement de déterminer la portée du signal, cor-

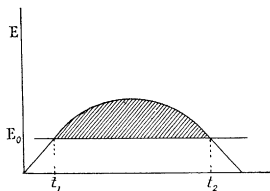


FIG. 1. — Cas où l'éclat n'a pas une intensité photométrique constante pendant sa durée.

respondante au seuil de la sensation, la loi nouvelle que nous avons établie donne, par extrapolation légitime, une solution facile. En effet, l'œil se comporte, ainsi que nous l'avons dit, comme un appareil balistique. Il suffit donc de considérer l'intégrale de l'excitation de la rétine pendant le passage de l'éclat.

Or, nous avons établi que l'excitation utile est à chaque instant proportionnelle à la différence $E - E_0$ entre l'éclairement réel E et l'éclairement limite E_0 du seuil (*fig. 1*). Si l'on appelle t_1 et t_2 les moments où E devient égal à E_0 au début et à la fin de l'éclat, l'intégrale d'excitation peut être obtenue par simple quadrature de la courbe représentative de E en planimétrant l'aire de cette courbe placée au-dessus de la droite E_0 ⁽¹⁾. Si l'on fait cette quadrature à une distance quelconque, on trouvera une aire supérieure à la valeur

(1) Il doit être bien entendu que nous n'admettons cette intégration que pour des éclats de durée faible tels qu'on les emploie dans la pratique actuelle, c'est-à-dire durant au plus une seconde : nous n'avons pas de données expérimentales suffisantes pour nous permettre de savoir dans quelle limite, pour des durées plus grandes, peut s'intégrer l'excitation.

aE_0 qui, d'après l'équation(1), correspond à la perception; on en conclura que l'on n'est pas encore à la limite de la portée. Cette limite de portée est atteinte lorsque

$$(7) \quad \int_{t_1}^{t_2} (E - E_0) dt = aE_0,$$

en appelant I_h les intensités photométriques des points lumineux, mesurés dans une coupe horizontale du faisceau et rapportée à la distance unité, cela peut s'écrire :

$$\int_{t_1}^{t_2} [I_h f(x) - E_0] dt = aE_0$$

ou :

$$(8) \quad f(x) \int_{t_1}^{t_2} I dt = E_0 (a + t_2 - t_1) \quad (a = 0,21 \text{ environ}).$$

Si l'on néglige la petite incertitude qui peut régner sur t_1 et t_2 (¹), l'intégrale au premier membre est connue une fois pour toutes, d'après la forme de la courbe polaire des intensités mesurée dans le faisceau à la distance unité, et par conséquent x peut être calculé facilement en fonction du second membre.

On peut par cette méthode obtenir également l'intensité horizontale I'_h d'une lumière fixe donnant la même portée limite que la lumière brève définie par cette courbe polaire, car on sait qu'une pareille lumière fixe est définie en fonction de l'éclairement minimum E_0 par la relation :

$$(9) \quad I'_h f(x) = E_0 \text{ (2)},$$

d'où :

$$(10) \quad I'_h = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I_h dt}{a + (t_2 - t_1)}.$$

(¹) Cette incertitude sera d'autant plus faible que la variation est plus brusque au commencement et à la fin de l'éclat. Quand il en est autrement, les éclats paraissent notablement plus courts à grande distance qu'à faible distance. Nous ne prétendons pas du reste donner une solution rigoureusement mathématique.

(²) On a indiqué en note (p. 542) la valeur de la constante E_0 , qui paraît être comprise entre $0,5 \cdot 10^{-7}$ et 10^{-7} .

Le dénominateur de la valeur l/h est une fonction de la durée d'éclat $t_2 - t_1$, et, comme on l'a vu plus haut, cette durée peut varier avec la distance par suite de l'affaiblissement de l'éclairement absolu au commencement et à la fin de l'éclat. Cela montre qu'on ne peut pas en toute rigueur déterminer une lumière fixe équivalente, à toute distance, à une lumière brève.

Remarques sur le relèvement de l'orientation des lumières brèves.

— Dans tout ce qui précède, nous ne nous sommes préoccupés que de l'impression produite sur la rétine par les lumières brèves; on peut se demander, d'autre part, si la brièveté plus ou moins grande des éclats influe sur la facilité de relèvement de la direction du point lumineux. Bien entendu, il ne s'agit, comme dans tout ce qui précède, que de comparer des éclats brefs et de durée inférieure à la seconde et vus au voisinage de leur limite de leur portée.

A cet effet, nous avons employé, pour viser le point lumineux, une alidade mobile autour d'un axe vertical et muni de deux fils verticaux légèrement éclairés pour les rendre visibles; les valeurs choisies pour la durée t , et pour tous les observateurs, ont été de 0,01, 0,03, 0,1, 0,3 et 1 seconde; on comptait le nombre d'éclats nécessaire à chaque observateur pour parfaire le pointage de l'alidade sur le point lumineux. Pour chaque observation, l'intensité du point lumineux était réglée de manière à donner exactement la limite de la portée, suivant la loi nouvelle établie.

On a trouvé ainsi les moyennes suivantes, prises chacune sur cinq observateurs :

Durée des éclats	Moyenne du nombre d'éclats pour faire le pointage
$\frac{1}{100}$	4,7
$\frac{3}{100}$	4,65
$\frac{1}{10}$	4,6
$\frac{3}{10}$	4,94
1 seconde	5

On voit donc qu'en passant de $1/100$ à 1 seconde, c'est-à-dire pour des éclats d'une durée variant dans le rapport de 100, les différences ont été très faibles, puisqu'elles n'ont pas dépassé 8 0/0, différences négligeables en pratique et qui, d'ailleurs, présentent le caractère d'écarts accidentels.

On voit que le relèvement exige toujours à peu près le même nombre d'éclats, quelle que soit la durée, et que cette durée n'exerce donc pas d'influence sensible.

Il en est autrement pour l'intervalle entre les éclats, car l'expérience a démontré qu'il n'est pas pratique de l'accroître au delà de cinq secondes, et que l'observation est d'autant plus facile et plus rapide que cet intervalle est plus court.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

En résumé, nous avons montré comment on peut, par des considérations théoriques, pressentir la forme de la loi la plus vraisemblable pour déterminer la relation entre l'intensité et la durée d'une lumière brève produisant le minimum de sensation perceptible.

Nous avons ensuite décrit des méthodes et appareils nouveaux permettant d'étudier expérimentalement tous les phénomènes de perception des lumières brèves, ponctuelles ou de dimensions définies, par la comparaison de deux lumières brèves de durée différente, dont l'une servant de repère.

En comparant un grand nombre de mesures faites par des expérimentateurs nombreux, avec le réglage au minimum perceptible, et en réduisant par le calcul des moyennes géométriques les divergences qui existent forcément dans des mesures de cette espèce, nous avons obtenu une vérification, qu'on peut considérer comme très satisfaisante, de la loi que nous cherchions entre les éclaircissements et leurs durées d'application sur la pupille. Dans le cas où l'on emploie des éclats uniformes, nous avons exprimé cette loi sous la forme simple :

$$(E - E_0) t = aE_0,$$

E_0 étant l'éclaircissement minimum perceptible, et a étant une constante de temps, de 0,21 seconde environ. Puis nous avons montré qu'on peut en déduire par simple intégration la loi des éclats non uniformes, leur portée et l'intensité de la lumière constante équivalente au point de vue de la portée :

$$\frac{\int_{t_1}^{t_2} I_h dt}{a + t_2 - t_1}.$$

Enfin, nous avons établi, par application de la loi qui précède, et par la considération des courbes de sensation de MM. Broca et Sulzer, que l'utilisation maxima d'une source de lumière doit exiger des éclats brefs, sans qu'il y ait à se préoccuper d'une limite inférieure de durée de ces éclats, sauf lorsqu'il s'agit de signaux télégraphiques. Il suffit d'ailleurs que la durée de l'éclat $t_2 - t_1$ devienne négligeable devant la constante a , pour qu'on soit sûr d'obtenir un maximum de rendement.
