

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 37 (1946)
Heft: 14

Artikel: Papillotage et phénomènes stroboscopiques provenant de fluctuations de la lumière à la fréquence du réseau
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057338>

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: 25.12.2024

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° 14

Samedi, 13 Juillet 1946

Papillotage et phénomènes stroboscopiques provenant de fluctuations de la lumière à la fréquence du réseau

Rapport du groupe d'étude du papillotage au Comité Suisse de l'Eclairage*)

612.843.53

A fin 1944, le Comité Suisse de l'Eclairage avait chargé un groupe d'étudier le papillotage et les phénomènes connexes. Le présent rapport donne des renseignements sur les expériences faites jusqu'ici dans ce domaine et sur les connaissances acquises. Le but était de résoudre pratiquement ce problème, à l'intention des éclairagistes.

Les fluctuations de la lumière ne sont que rarement gênantes, mais il n'est pas toujours facile de s'en rendre compte. Lorsqu'un cas de ce genre est manifeste, il y a lieu d'en supprimer les inconvénients par des mesures appropriées.

Das Schweizerische Beleuchtungskomitee hat Ende 1944 zum Studium des Flimmerns und verwandter Erscheinungen eine Fachgruppe eingesetzt. Der folgende Bericht orientiert über die bis heute gesammelten Erfahrungen und Erkenntnisse und versucht, die für die lichttechnische Praxis hinreichende Abklärung zu schaffen.

Die Fälle, in denen die Welligkeit des Lichtes wirklich stört, sind selten und nicht leicht zu erkennen. Wo eine solche Störung festgestellt worden ist, sollen die bekannten Mittel zur Abhilfe angewandt werden.

Tâche du comité d'étude

Par suite du développement constant de l'éclairage à luminescence, il est devenu de plus en plus nécessaire de savoir jusqu'à quel point les variations d'intensité des sources lumineuses alimentées en courant alternatif gênent les personnes, notamment depuis les observations faites dans ce domaine par M. Birkhäuser¹⁾.

A sa séance du 21 décembre 1944, le CSE a désigné un groupe d'étude pour s'occuper de cette question. Une assemblée de discussion s'est tenue à Berne, le 12 avril 1945, en présence d'invités s'intéressant à l'éclairagisme²⁾. Le présent rapport se base sur les travaux du groupe d'étude**), les conférences et les discussions de l'assemblée de Berne, ainsi que sur les recherches effectuées par le Bureau fédéral des poids et mesures.

Notions et phénomènes

Dans les réseaux à 50 Hz, toutes les sources lumineuses sont sujettes à des fluctuations plus ou moins fortes à la fréquence de 100 Hz. Aux extrémités des tubes luminescents, ces fluctuations ont parfois lieu à la fréquence de 50 Hz. Lorsque l'on dit qu'une lumière «papillote», cela signifie qu'elle nous donne l'impression d'un papillotage. Cette impression n'est toutefois pas nécessairement causée par n'importe quelle variation périodique objective de l'intensité lumineuse. En effet, un objet immobile ne donnera pas l'impression de papilloter s'il est éclairé par une lumière oscillante à une fréquence de 100 Hz et plus. D'autre part, les personnes âgées ou

convalescentes se plaignent souvent de ce que les lettres «dansent» devant leurs yeux, après une lecture prolongée. Ces indications subjectives, souvent ambiguës, sont fournies même lorsque la lumière est absolument constante. Dans ce rapport, nous n'avons donc pas tenu compte de ce genre de «papillotage», ni des lentes fluctuations de lumière à une fréquence inférieure à 5 Hz, ni de la scintillation. Nous ne considérons que les phénomènes provenant manifestement du fait que la lumière subit des fluctuations à une fréquence qui atteint un multiple entier (généralement le double) de celle du réseau.

Au point de vue physique, la courbe lumière-temps est parfaitement caractérisée par une fonction du temps ou la décomposition de celle-ci en série de Fourier. L'emploi du facteur de fluctuation de la lumière I_{min}/I_{max} ne permet pas une indication suffisante de la grandeur subjective du papillotage. Par contre, le degré d'ondulation caractérise objectivement les différents genres de lumière, c'est-à-dire qu'il permet de calculer si deux lumières sont équivalentes au point de vue du papillotage. C'est probablement la partie de la série de Fourier se rapportant à l'ondulation fondamentale qui est déterminante à cet égard.

En pratique, les deux seuls effets qui aient de l'importance sont:

Intensité variable de la lumière, objet en mouvement ou se déplaçant; cela peut provoquer un papillotage dans l'espace ou papillotage dû au mouvement.

Intensité variable de la lumière, périodicité dans la structure (roue à rayons) ou mouvement de l'objet (ressort oscillant, par exemple); cela peut donner lieu à des phénomènes stroboscopiques, notamment à des illusions de mouvement.

*) Approuvé par le CSE dans sa 32^e séance, tenue le 19 juin 1946 à Genève.

**) En font partie MM. König, président; Bänninger, von Berlepsch, Birkhäuser, Goldmann, Guanter, Högger, Kessler, Loeb, Paschoud, Roesgen, Spieser.

Intensité variable de la lumière, objet en repos; cela peut provoquer un papillotage dans le temps (fluctuation de luminosité), mais seulement lorsque la fréquence est nettement inférieure à 100 Hz.

Le cas d'une variation périodique de la couleur de la lumière n'a pratiquement pas d'importance, que l'objet considéré soit en repos ou en mouvement.

Alors que les domaines en dehors desquels aucun phénomène ne peut être observé sont généralement bien délimités pour des raisons physiologiques, la question de la «gêne du travail» ne peut être résolue qu'individuellement, car elle ressortit au domaine psychique. Des renseignements corrects ne peuvent être obtenus dans ce cas qu'en posant des questions qui ne risquent pas de suggestionner les personnes interrogées.

Nous n'avons fait, dans ce premier aperçu des notions et des phénomènes, que de poser des problèmes, sans les résoudre. Dans la discussion de problèmes particuliers, nous aurons l'occasion d'en aborder la solution.

Le papillotage dans le temps

Pour étudier ce phénomène, le plus simple est de se placer en face d'une paroi dans laquelle est percé un trou, dont le diamètre peut être modifié et derrière lequel tourne, à vitesse réglable, un disque comportant des secteurs noirs et blancs, l'ensemble de ce dispositif étant éclairé de façon absolument uniforme par la lumière naturelle du jour ou par une lumière alimentée en courant continu. En observant ce trou ou tel autre point de la paroi, on peut étudier toutes les lois du papillotage dans le temps, c'est-à-dire les phénomènes qui se produisent lorsqu'un seul et même territoire de la rétine est éclairé par une lumière dont l'intensité augmente et diminue périodiquement. On constate ce qui suit: Plus le disque noir et blanc tourne vite, moins le papillotage est net. Lorsque la fréquence critique est atteinte, le trou paraît être uniformément éclairé et ne plus présenter de papillotage. Au delà de la fréquence critique, la luminosité de

l'objet est égale à la moyenne dans le temps de la phase claire et de la phase sombre (loi de Talbot). La fréquence critique est d'autant plus élevée que la différence de luminosité entre les secteurs clairs et sombres du disque en rotation est plus grande (loi de Ferry-Porter). Elle est d'autant plus élevée que l'éclairage général est plus puissant et que le trou est plus grand (mesuré en dimensions angulaires)

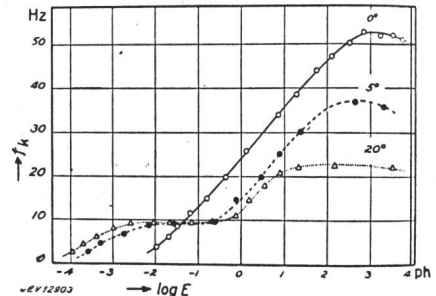


Fig. 2. Lumière blanche. Rapport entre la fréquence critique et un territoire de la rétine excentré de 5° et 20° par rapport au point de fixation (N'est valable avec certitude que pour des objets de faibles dimensions.) Abscisses et ordonnées, comme pour la figure 1.

derrière lequel apparaît le disque papillotant, mais elle atteint assez vite une limite asymptotique (fig.1). La fréquence critique dans le domaine de l'adaptation à la clarté et pour de petits objets (env. 1/2°) atteint un maximum lorsque l'on fixe directement le centre du trou. Par contre, lorsque l'on regarde à côté du trou, le papillotage cesse déjà à des fréquences plus basses (fig.2). Dans le domaine de l'adaptation à la clarté et pour un large champ de vision (fig.2a) la fréquence critique à la périphérie de la rétine est plus élevée qu'au centre de celle-ci. C'est ce qui explique pourquoi le papillotage sous 50 Hz est plus fort aux extrémités de tubes lumineux que l'on parcourt du regard.

En substituant au disque noir et blanc un disque à secteurs noirs et colorés, on constate que différentes couleurs ayant la même fréquence critique sous un éclairage identique dans de mêmes conditions, paraissent présenter la même luminosité (loi de Ferry-Porter), de sorte que la fréquence critique a une certaine importance en photométrie hétérochrome pour la mesure de la luminosité.

Pour un contraste maximum (fig. 3), les fréquences critiques sont inférieures à 100 Hz. Les

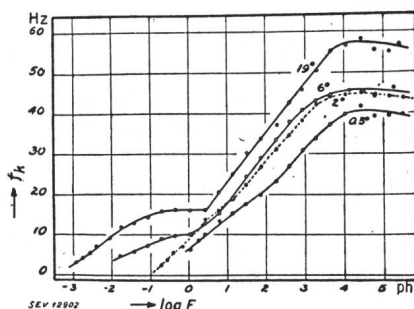


Fig. 1. Lumière blanche. Rapport entre la fréquence critique et les dimensions du champ visuel lors de fixation centrale

Abscisses: Logarithme de l'éclairage de la rétine, en photons. (Le photon est l'unité d'éclairage de la rétine en usage dans les pays anglo-saxons. C'est l'éclairage de la rétine produit par une brillance de 10⁻⁴ bougies/cm² sur une surface de la pupille de 1 mm².)

Ordonnées: Fréquence critique en Hz. On constate donc que, dans le domaine de l'adaptation à la clarté (c'est-à-dire entre 10 et 1000 photons), la fréquence critique est directement proportionnelle au logarithme de l'éclairage de la rétine.

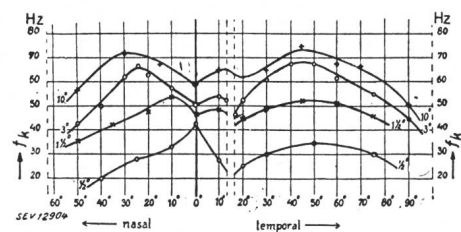


Fig. 2a. Rapport entre la fréquence critique et le territoire considéré de la rétine, pour des objets de différentes dimensions (1/2°, 1 1/2°, 3°, 10°) Abscisses: Territoire de la rétine. Ordonnées: Fréquence critique.

fluctuations normales de la lumière à 100 Hz ne provoquent donc pas de papillotage dans le temps lorsque l'objet est en repos. Ce phénomène a en conséquence beaucoup moins d'importance pour la

vision que le papillotage dû au mouvement et les phénomènes stroboscopiques.

Il était également utile de se rendre compte si l'éclairage intermittent risque d'endommager la rétine. En considérant de plus près le processus

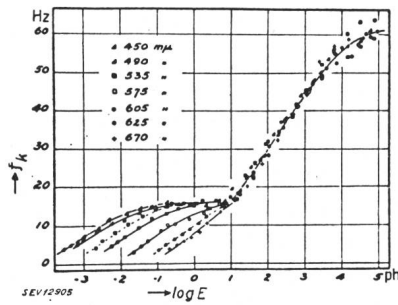


Fig. 3.
Rapport entre la fréquence critique et l'éclairage de la rétine par des lumières de différents longueurs d'onde (Principes de la photométrie hétérochrome.)
On constate que, dans le domaine de l'adaptation à la clarté entre 10 et 1000 photons, des couleurs de même luminosité ont la même fréquence critique.

d'excitation de la rétine, on constate toutefois qu'une telle possibilité est exclue d'emblée.

Les recherches électrophysiologiques, notamment celles de Granit et de ses collaborateurs, ont montré qu'il se produit dans la couche réceptrice de la rétine (là où la lumière exerce son effet d'excitation) un processus électrique qui n'est pas la cause de l'excitation, mais qui nous renseigne sur l'allure de celle-ci (électrorétinogramme). En examinant un électrorétinogramme obtenu avec une lumière discontinue, on constate qu'il présente lui aussi une allure oscillante, lorsque la fréquence des excitations est inférieure à une certaine valeur critique (fig. 4 et 5).

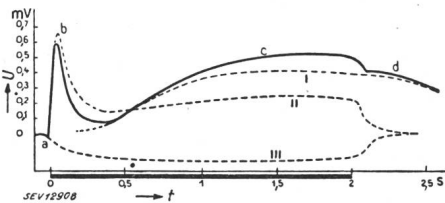


Fig. 4.
Electrorétinogramme normal
Trait gras de l'axe des abscisses: Durée de l'éclairage.
Ordonnées: Tension.

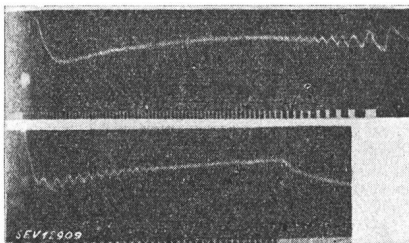


Fig. 5.
Electrorétinogramme sous excitation discontinue
En haut: Avec fréquence allant en diminuant.
En bas: Avec fréquence allant en augmentant.
Les excitations lumineuses sont inscrites sur l'axe des abscisses. Au fur et à mesure que la fréquence augmente, l'électrorétinogramme devient moins net.

Cette valeur critique correspond approximativement à celles qui résultent de la loi de Ferry-Porter. Au delà de la fréquence critique, qui est bien inférieure à 100 Hz (généralement comprise entre 16 à 30 Hz), l'électrorétinogramme est lisse. Selon Chaffee, la tension de l'électrorétinogramme est en rapport à peu près logarithmique avec l'intensité d'excitation. Après avoir été transmise à une série de deux cellules successives, l'excitation qui a pris naissance dans la couche réceptrice de la rétine est transmise d'une manière très spéciale. L'intensité d'excitation des cellules réceptrices est en effet transformée en fréquences de décharge des cellules (Adrian et Mathews). Plus l'excitation a été grande dans la

couche réceptrice (différence de potentiel de l'électrorétinogramme), plus la fréquence de décharge des cellules en série augmente, de sorte qu'un diagramme où la fréquence de décharge dans le nerf optique est reportée en ordonnée et la durée en abscisse nous donne en quelque sorte une reproduction de l'électrorétinogramme. On comprend donc qu'une

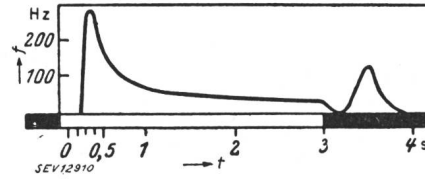


Fig. 6.
Diagramme de fréquence des excitations des nerfs optiques
Abscisses: Durée.
Ordonnées: Fréquence.

On constate que le diagramme fréquence-durée des nerfs optiques est très semblable à l'électrorétinogramme (voir fig. 4). La durée d'excitation de 0 à 3 secondes est indiquée sur l'axe des abscisses.

fréquence d'excitation lumineuse qui dépasse la fréquence critique du papillotage dans le temps ne joue aucun rôle dans l'électrorétinogramme et encore moins lors des processus de transmission, car une telle fluctuation de l'excitation n'intervient déjà plus dans le processus photochimique. D'autre part, les yeux sont, physiologiquement parlant, en mouvement constant. Un regard absolument fixe est aphysiologique. Chaque territoire de la rétine est donc physiologiquement soumis à diverses impressions lumineuses, qui se modifient rapidement. La fonction des différents territoires de la rétine ne peut pas être influencée par le fait qu'entre deux territoires excités par de vives impressions lumineuses se trouve un territoire moins excité, comme c'est le cas lors du papillotage dû au mouvement, dont il est parlé au chapitre suivant, ou par le fait que les impulsions lumineuses s'accumulent à un même territoire de la rétine.

Avant de poursuivre ce raisonnement, nous parlerons brièvement des autres phénomènes subjectifs, dont l'importance pratique est plus grande.

Le papillotage dû au mouvement

Supposons que nous observions une tache qui, l'instant auparavant, papillotait encore et qui nous apparaît maintenant absolument uniforme par suite d'une augmentation de la fréquence. Si nous déplaçons légèrement l'œil, la tache papillotera à nouveau à ce moment-là et nous observerons peut-être plusieurs taches les unes à côté des autres. Il s'agit du papillotage dans l'espace, que l'on appelle généralement papillotage dû au mouvement. Du fait que nous faisons passer rapidement l'image du trou sur la rétine, l'un des territoires de la rétine est impressionné par la partie claire du disque, tandis que le territoire voisin est influencé par la partie sombre, l'œil enregistrant cela très nettement. On peut très bien constater le papillotage dû au mouvement en procédant non pas comme nous venons de le dire, mais en collant radialement une étroite bande de papier blanc de largeur s sur un disque de gramophone recouvert d'un papier sombre, puis en faisant tourner ce disque à différentes vitesses et en l'éclairant avec des lumières présentant diverses formes de courbes. La figure 7 reproduit l'impression simultanée reçue par l'œil par suite d'une prolongation de l'excitation (env. $1/30s$), dans le cas d'une courbe rectangulaire, où les plages claires et sombres alternent à intervalles égaux. On constate notamment l'interposition de zones exemptes de papillotage. La théorie montre que ces zones se trouvent

aux endroits où l'avance S de la bande de papier par période d'oscillation de la lumière atteint une fraction entière de la largeur de la bande: $S = s/m$ (m étant un nombre entier)³). S est égal au produit de la vitesse v par la période T de la lumière

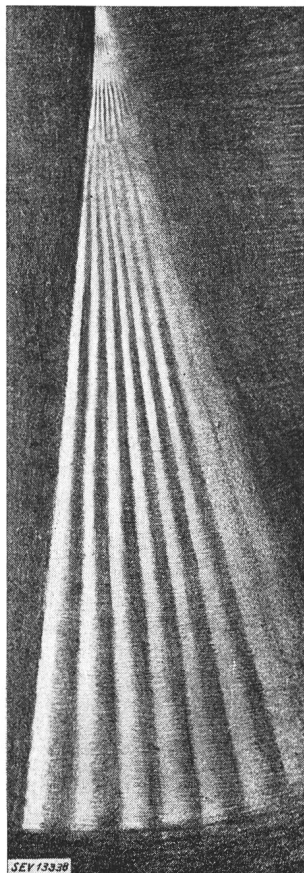


Fig. 7.

Image du papillotage

Essai de reproduction de l'impression subjective que nous recevons lorsqu'une bande de papier sur fond sombre est tournée autour de l'un de ses points.

($T = s/f$, où f est la fréquence, soit ici 100 Hz). L'image du papillotage est nette lorsque l'avance S est franchement plus grande que s . Le papillotage dû au mouvement n'est perceptible que pour des objets dont la largeur est inférieure à v/f . L'image du papillotage est la plus apparente à l'endroit $S = 2s$, ceci indépendamment de la forme de la courbe lumière-temps, comme l'indique également la théorie.

Outre ces relations quantitatives, il s'en présente d'autres, qu'il est plus difficile de mettre en évidence, mais qui sont également importantes pour

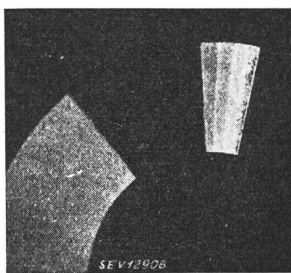


Fig. 8.

Images subséquentes

Lorsqu'une bande claire se déplace à vitesse modérée devant un œil adapté à l'obscurité, elle paraît être suivie à plusieurs reprises (durant les premières phases) d'une image plus large de la bande. La figure illustre l'impression de ces images subséquentes, lorsqu'une bande claire disposée radialement tourne lentement.

juger du papillotage dû au mouvement. C'est ainsi que l'impression subjective des images successives (séparées par des intervalles sombres) d'une bande de papier en mouvement paraissent souvent être

séparées les unes des autres par des espaces intermédiaires très sombres, même lorsque l'ondulation de la lumière ne permettait pas de supposer une différence aussi grande. Cela tient au fait que chaque tâche claire dans notre champ de vision assombrit, par contraste, les parties qui l'entourent. Nous reviendrons sur ce phénomène subjectif lorsque nous parlerons du degré d'ondulation.

La rétine présente, d'autre part, la particularité de réagir périodiquement à des excitations individuelles, surtout quand l'éclairage est modéré. Ainsi, lorsqu'une bande claire se déplace devant l'œil alors que l'éclairage a été réduit, il peut arriver que la bande soit vue plusieurs fois, malgré un éclairage absolument constant. Chacun peut faire cette expérience en déplaçant à travers le champ visuel, dans l'obscurité, une cigarette allumée: une seconde tâche lumineuse suit nettement la première, à une certaine distance (fig. 8 et 9).

On a déjà dit que les fluctuations de lumière à une fréquence supérieure à la fréquence critique

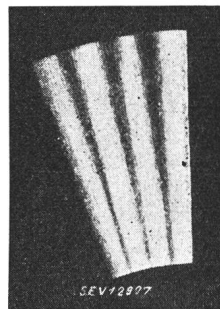


Fig. 9.

Reproduction agrandie des premières phases des images subséquentes

(qui ne provoquent donc pas de papillotage dans le temps) *n'endommagent pas la rétine, du moins pour autant que nous le sachions. Quant au papillotage dû au mouvement, il ne peut pas non plus endommager la rétine, car il ne fait qu'exciter moins fortement certains des territoires de la rétine, situés entre d'autres territoires excités.*

Birkhäuser¹⁾ a essayé de représenter, par une analogie avec la mécanique, la différence qui existe entre l'ondulation de la lumière à incandescence et celle de la lumière à luminescence, la première équivalent à la pression uniforme exercée sur la rétine, la seconde à de fines piqûres. Lorsque l'on parle de «piqûres», le lecteur pourrait facilement croire qu'il s'agit de quelque chose de dangereux, de sorte que cette comparaison risque d'être faussement interprétée. M. le professeur Birkhäuser tient donc à spécifier que sa comparaison n'implique aucunement un endommagement de la rétine.

L'effet stroboscopique

Cet effet est en relation avec une caractéristique fondamentale de l'ensemble de notre appareil de perception du monde qui nous entoure. Nous ne voyons en effet que des choses ou des mouvements, alors qu'en réalité notre rétine nous fournit une quantité de taches colorées qui se modifient sans cesse. Pour nous permettre de nous orienter, il est toutefois important que nous sachions reconnaître

les choses dans des conditions les plus diverses. Il y a un chemin fort compliqué entre les taches colorées de notre rétine et notre esprit, de sorte qu'il faut une grande habitude et beaucoup d'effort pour avoir des impressions «simples» de ce que nous voyons constamment. Lors du «déplacement d'objets», il s'agit simplement de différents territoires de la rétine qui reçoivent successivement des excitations semblables. Notre système nerveux central est ensuite chargé de transformer ces impressions, surtout par ce que nous appelons communément l'organe de la vue.

Supposons, par exemple, que deux bandes de papier différentes, mais ayant le même aspect, se trouvent à une certaine distance l'une de l'autre de telle sorte que l'on ne les aperçoive pas toutes deux en même temps. Si elles passent rapidement devant nos yeux, on a la ferme impression que la première de ces deux bandes s'est déplacée et a occupé la place de la seconde, c'est-à-dire que l'on a vu *une seule* bande se déplacer, alors qu'en réalité il y en avait deux. C'est le phénomène essentiel sur lequel repose la cinématographie, où il est indifférent qu'un objet se déplace réellement ou que deux objets suffisamment semblables soient vus l'un après l'autre à une distance point trop grande et dans une position analogue. On a l'impression qu'il s'agit d'un objet *en mouvement*.

Lorsque nous suivons du regard une dent d'une roue dentée qui se déplace à droite, nous voyons cette roue tourner à droite. Si cette roue est éclairée par une lumière discontinue, l'impression reçue dépend de la dent qui se trouve la plus proche de celle vue précédemment, après l'intervalle sombre. S'il s'agit de la même dent qui s'est un peu déplacée vers la droite, nous voyons le même phénomène que ci-dessus. Par contre, si la dent suivante s'est entre temps rapprochée de la première, au point de l'atteindre presque, nous aurons l'impression qu'il s'agit de la même dent que celle que nous avons vue précédemment, mais qui se serait déplacée vers la gauche. Si, durant la période sombre, la dent suivante arrive un peu au delà de la première, vers la droite, cette dent sera derechef prise pour la première et on aura l'impression que la roue tourne à droite, mais plus lentement qu'en réalité. Il s'agit d'effets stroboscopiques que l'on peut observer à des machines en rotation éclairées par une lumière discontinue, pouvant provenir non seulement de lampes à décharge, mais aussi dans certaines conditions de *n'importe quelle lumière fluctuante* (même à faible ondulation). Il est donc très important de supprimer ces effets stroboscopiques, lorsqu'ils risquent de provoquer des confusions dangereuses.

Jusqu'ici, nous ne nous sommes occupés des phénomènes que par leurs aspects physiologiques, qui permettent en quelque sorte d'exposer des faits ayant un caractère général. Il s'agit d'essais de laboratoire, où la forme de la courbe lumière-temps n'a généralement guère d'importance, les fluctuations de la lumière jouant un rôle essentiel. Si l'on veut savoir comment ces phénomènes gênent le travail, il est nécessaire de s'occuper tout d'abord des sources lumineuses pratiquement utilisées.

La courbe lumière-temps de quelques sources lumineuses techniques

La figure 10 reproduit quelques-unes des mesures effectuées par le Bureau fédéral des poids et

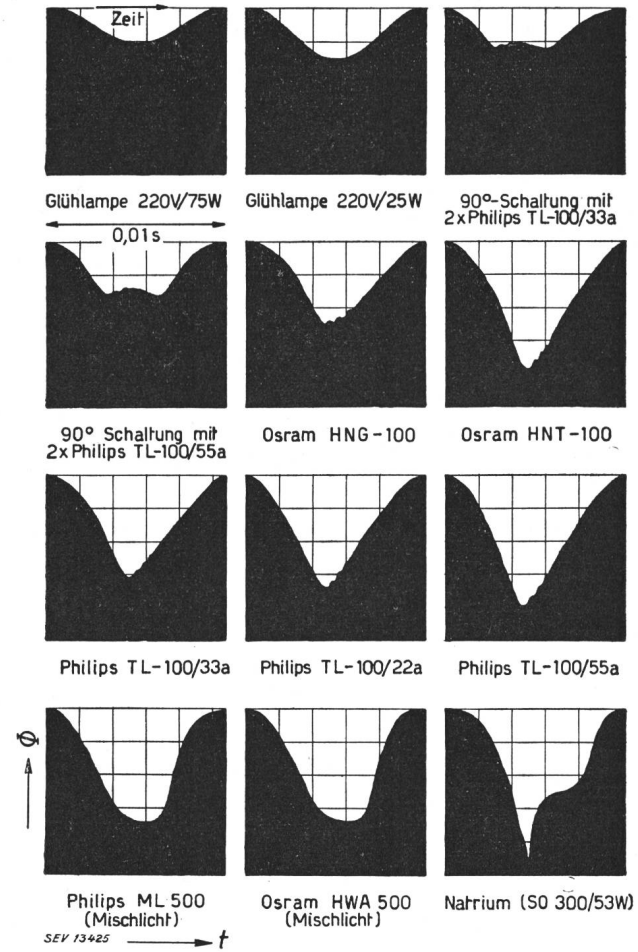


Fig. 10. Quelques courbes lumière-temps

mesures. Ces résultats concordent avec les indications parues dans la presse technique⁴⁾. La courbe relative aux tubes fluorescents à haute tension est presque identique à celle des tubes à basse tension. Pour une meilleure ordonnance des courbes, nous avons introduit le *facteur de fluctuation de la lumière* I_{min}/I_{max} , qui atteint les valeurs suivantes, pour une fréquence de papillotage de 100 Hz:

Cas idéal (courant continu)	1
3 lampes tubulaires fluorescentes, lumière du jour à basse ou haute tension, couplage triphasé	} plus de 0,9
Lampes à incandescence à tension réduite, monophasées	
Lampes à incandescence 220 V, 75 W	0,8
Lampes à incandescence 220 V, 25 W	0,7
2 lampes tubulaires fluorescentes à basse ou haute tension, couplage à 90°	
lumière blanche	0,8
lumière du jour	0,7
Lampe tubulaire fluorescente Rovo No. 80, jaunâtre, à haute tension	0,6
Lampe tubulaire fluorescente	
Osram HNG 100, jaunâtre, à basse tension	} 0,5...0,4
Philips TL 100/33a, blanche, à basse tension	
Rovo No. 104, rougeâtre, à haute tension	

Lampes à lumière mixte Osram HWA 500, Philips ML 500

Dans ces lampes, le rapport du mélange de lumière à incandescence et à vapeur de mercure est de 1 : 1. Au besoin, le facteur de fluctuation de la lumière peut être augmenté en adoptant un rapport plus faible ou en ajoutant de la lumière à incandescence.

Lampe tubulaire fluorescente

Osram HNT 100, lumière du jour, à basse tens.	} 0,2...0,25
Philips TL 100/55a, lumière du jour, à basse tension	
Rovo No. 107, lumière du jour, à haute tension	

Lampes à vapeur de mercure (Hg, pur)	} 0,1...0
Lampes à vapeur de sodium (Na, pur)	

Cette table et la figure 10 montrent, entre autres, qu'il existe déjà des tubes luminescents dont la courbe lumière-temps ne baisse pas au-dessous de la moitié de la valeur maximum.

Par des couplages spéciaux, le facteur de fluctuation de la lumière peut être relevé jusqu'à plus de 0,9.

Pour une même valeur maximum, les fluctuations de la lumière blanche (jaunâtre, rougeâtre, blanc chaud) des lampes fluorescentes atteignent à peu près le double de celles des lampes à incandescence de 75 W, 220 V.

Dans les lampes à décharge proprement dites, l'intensité devient presque nulle durant un court instant.

Le degré d'ondulation de la lumière

Si l'on considère la courbe lumière-temps, on constate que l'importance du papillotage dû au mouvement peut résulter des deux possibilités suivantes:

a) Ce ne sont pas les détails qui importent, mais simplement les valeurs essentielles, telles que le rapport entre l'onde fondamentale de la série de Fourier et la moyenne dans le temps (critère de l'onde fondamentale).

b) C'est le *contraste* maximum qui importe, c'est-à-dire le rapport entre la différence des brillances maximum et minimum et la brillance maximum de l'image du papillotage (critère du contraste selon Bouma⁴).

On peut prouver mathématiquement qu'il est indifférent, jusqu'à un facteur $\pi/2$, d'appliquer le critère de l'onde fondamentale a) à l'image du papillotage (ainsi qu'on devrait normalement le faire, puisque c'est cette image que nous voyons) ou à la courbe lumière-temps selon Andersen⁵). On a pu démontrer³) que le critère de l'onde fondamentale convient très bien pour l'examen des formes de courbes qui entrent pratiquement en ligne de compte. Cela signifie que si l'on travaille avec deux genres de lumières ($E' = E''$) fournissant un éclairage qui donne la même moyenne dans le temps ($\bar{E}' = \bar{E}''$) et si les décompositions en séries de Fourier

$$E' = \bar{E}' + E'_1 \sin(\omega t + \varphi'_1) + E'_2 \sin(2\omega t + \varphi'_2) + \dots$$

et

$$E'' = \bar{E}'' + E''_1 \sin(\omega t + \varphi''_1) + E''_2 \sin(2\omega t + \varphi''_2) + \dots$$

présentent en outre les mêmes ondes fondamentales

($E'_1 = E''_1$), on peut admettre que les deux genres de lumières sont équivalents au point de vue du papillotage, car il faut leur ajouter des mêmes quantités de lumière constante pour que des observateurs routinés constatent la disparition du papillotage dû au mouvement.

Il n'est cependant guère possible d'indiquer d'avance, dans chaque cas pratique, le genre de lumière qui ne donnera pas lieu à un papillotage dû au mouvement. Tout ce que l'on peut dire, c'est que si un genre de lumière a donné satisfaction pour certaines conditions de travail, tel ou tel autre genre de lumière doit également donner satisfaction, au besoin en y ajoutant de la lumière à incandescence.

Nous avons parlé de l'assombrissement par contraste des zones situées entre des bandes claires voisines, phénomène qui fait apparaître la lumière plus irrégulière qu'elle ne l'est en réalité. Afin d'éviter toute fausse interprétation, nous ajouterons que cet effet de contraste a été dûment considéré dans les expériences mentionnées dans ce chapitre.

La nature psychique des perturbations

Certaines personnes sont fortement gênées par le papillotage dû au mouvement. Ce sont en général des êtres particulièrement sensibles, qui observent des choses que d'autres personnes ne remarquent pas. Les écarts considérables que l'on constate dans les réactions de personnes différentes sont certainement de nature psychique.

C'est l'œil qui participe tout d'abord à l'établissement de la sensation, puis le nerf optique jusqu'aux premières cellules cérébrales et enfin de celles-ci jusqu'aux membranes du cerveau. Rappelons qu'un papillotage effectif peut aussi se produire sans l'aide de la lumière. Le processus qui engendre cette impression peut se dérouler en un endroit quelconque du chemin de vision entre l'œil et les membranes du cerveau et être observé comme un papillotage plus ou moins vif dans le champ de vision. Un tel processus, qui est purement cérébral, est très caractéristique: les objets considérés, par exemple des caractères d'imprimerie, cessent d'être lumineux, de sorte que l'on constate dans la ligne imprimée un «blanc» qui grandit lentement, puis dont les bords deviennent lumineux et scintillants, pour disparaître au bout de 20 à 30 minutes. Ce phénomène est le plus souvent accompagné de migraine, et on l'appelle en allemand «Flimmerscoton» (flimmern = papilloter). Il est en outre prouvé que l'adaptation à une lumière papillotante à la périphérie de la rétine est influencée par l'excitation due à l'attention, par l'activité musculaire, ainsi que par des excitations acoustiques. Il est donc nécessaire de tenir compte de tout cela lorsque l'on examine l'effet d'un éclairage sur des personnes sensibles, qui exercent un travail pénible dans un local bruyant ou dont l'activité exige une très grande concentration de l'esprit. Ceci montre que les centres nerveux participent également aux sensations qui nous occupent.

Les réactions des individus dépendent d'un complexe psychique, qui rend malaisée une distinction entre les *troubles spontanés*, qui doivent toujours être sérieusement considérés, les *troubles suggestifs*, qui sont dus à la contagion ou à des questions maladives qui ne font que troubler inutilement la personne interrogée, et enfin les *troubles imaginaires*, dus uniquement au fait que la personne a entendu parler de papillotage.

Nous estimons qu'il est utile de considérer d'un peu plus près ces deux dernières catégories de troubles.

Lorsque des phénomènes nouveaux se produisent avec un éclairage d'un autre genre, certaines personnes commencent par s'étonner de ces phénomènes, puis elles en sont troublées et enfin fascinées. De nombreux exemples en fournissent la preuve. Avec l'âge, quelques filaments apparaissent dans le cristallin. Nous ne nous en apercevons généralement pas, mais il suffit d'observer un champ de neige ou le ciel bleu, pour que ces stries nous deviennent visibles. Certaines personnes en sont alors grandement affligées et ne cessent de consulter leur oculiste, car elles persistent à s'imaginer, à tort d'ailleurs, que la chose est grave.

Aussitôt qu'un ouvrier placé devant une source lumineuse papillotante observe que des outils déplacés rapidement peuvent apparaître multipliés, il négligera bientôt ce phénomène ou s'en occupera au contraire de plus en plus, suivant son caractère, au point que son travail en souffrira réellement, une partie de son attention étant attirée sur ce phénomène. Certaines personnes ne peuvent réellement pas travailler sous un éclairage de ce genre.

L'être humain est extrêmement conservatif dans ses habitudes et est encore très primitif en ce qui concerne la discrimination des causes de ses propres sensations corporelles. Il a toujours tendance à croire que n'importe quelle sensation provient d'une cause extérieure. Lorsque des changements surviennent dans son entourage, il leur incrimine instinctivement toutes les conséquences désagréables. *Les plaintes au sujet des troubles occasionnés par un nouvel éclairage peuvent donc être parfaitement justifiées, mais elles peuvent tout aussi bien ne pas l'être. Seule, une analyse précise du cas considéré peut fournir des renseignements sur les corrélations réelles entre les plaintes et le mode d'éclairage.*

Lors de l'examen des plaintes au sujet d'un nouvel éclairage, les indications des personnes du sexe féminin sont parfois sujettes à caution. La composition spectrale de la lumière joue en effet un grand rôle chez la femme, car la couleur des cheveux, des dents (artificielles), des ongles et de la peau est, dans certains cas, modifiée défavorablement. Les femmes questionnées taisent souvent ces motifs et préfèrent prétendre que les inconvénients proviennent du papillotage de la lumière.

Les phénomènes dont nous venons de parler ont, comme d'autres phénomènes psychiques, la propriété d'être contagieux et il suffit d'une seule personne pour troubler toutes celles qui travaillent avec elle. Il faut donc veiller à ne pas poser des questions qui risqueraient d'attirer inutilement l'attention sur le papillotage de la lumière.

Il est remarquable que bien peu de personnes se rendent compte d'elles-mêmes du papillotage dû au mouvement et des phénomènes stroboscopiques, même lorsque ces phénomènes sont très apparents. L'œil enregistre bien ces effets, mais ceux-ci sont probablement éliminés par le subconscient dès la formation de l'image. En théorie, il serait possible que la fatigue intervienne plus rapidement, par suite de l'obligation de combiner sans cesse différentes images pour en former une impression d'ensemble. En réalité, cela n'est pas le cas. Au contraire, les personnes qui s'efforcent d'analyser le processus et d'éliminer les tendances combinatoires se fatiguent beaucoup plus, peut-être parce qu'il faut une certaine attention pour s'opposer à la tendance naturelle de combiner les impressions visuelles⁶⁾.

Tous ceux qui doivent faire des enquêtes auprès de personnes non averties feront donc bien de songer à ces divers facteurs. C'est l'une des raisons pour les-

quelles l'enquête du Comité Suisse de l'Eclairage n'a été entreprise qu'auprès d'un nombre relativement restreint de personnes. Les résultats indiqués au chapitre suivant paraissent néanmoins suffire pour une première approximation.

Rapport sur l'enquête du CSE

Trois questionnaires différents ont servi à l'enquête entreprise dans un certain nombre d'exploitations utilisant de la lumière à luminescence. L'un d'eux était destiné aux installateurs, tandis que les deux autres servaient de directives pour les questions à poser aux propriétaires d'installations et aux personnes occupées dans les entreprises. Jusqu'ici, 28 exploitations groupant 900 personnes ont fait l'objet d'enquêtes. 120 personnes furent interrogées directement. Rappelons également l'enquête faite précédemment par Högger⁶⁾ et qui avait porté sur 50 personnes.

27 propriétaires sur 28 répondirent par l'affirmative à la question «Êtes-vous satisfait de la nouvelle installation?». L'installation qui n'avait pas donné satisfaction comportait un éclairage indirect à lumière mixte par lampe à vapeur de mercure de 300 Dlm et trois lampes à incandescence de 100 Dlm chacune (rapport du mélange: 1 : 1). Cette installation datait de fin 1944.

Les critiques formulées auprès des enquêteurs du CSE furent les suivantes:

a) Eclairage insuffisant (qui atteignait pourtant 190 à 210 lux en moyenne!).

b) Lumière inconstante, observée lors du travail à la machine à écrire, mais seulement par une personne qui se plaignait de picotements dans les yeux. Les 3 autres personnes travaillant dans ce même bureau ne se plaignirent que d'un éclairage insuffisant. La dactylographe qui avait constaté un papillotage était âgée de 55 ans et avait une vue normale. Elle déclara d'ailleurs que le nouvel éclairage était meilleur que l'ancien. Il est donc difficile de tirer de nettes conclusions de l'enquête faite dans ce bureau.

Dans le cas des 27 autres installations les réponses aux questions «Quelles furent vos premières impressions, qu'avez-vous ressenti? Qu'avez-vous à déclarer au sujet du nouvel éclairage?» signalent une lumière irrégulière.

Quatre de ces personnes travaillaient sous un éclairage complètement indirect à lumière mixte; l'une d'entre elles, âgée de 46 ans, et myope, préférerait l'éclairage à incandescence, une autre trouve néanmoins que l'éclairage est préférable à l'ancien, tandis que les deux autres ne constatèrent un papillotage qu'en regardant au plafond, mais ne remarquaient rien de spécial à leur emplacement de travail. Deux de ces personnes se plaignirent en outre de picotements dans les yeux, causés par l'éclairage indirect à lumière mixte, picotements qui ne provenaient pas du papillotage de la lumière, mais probablement d'un éclairage insuffisant.

7 personnes ont constaté des effets stroboscopiques dans une installation à lumière mixte, mais cela ne les gênait pas du tout.

12 personnes travaillant sous un éclairage par lampes fluorescentes (lumière du jour) connaissaient déjà les effets stroboscopiques, car un inspecteur des fabriques leur en avait fait une démonstration! Auparavant, elles n'avaient jamais remarqué d'effets de ce genre. Fort heureusement, elles n'en furent pas gênées par la suite.

Une couturière avait constaté, durant les premiers jours, un léger papillotage, qui n'était toutefois pas gênant.

Une surveillante de central téléphonique a remarqué un papillotage dû au mouvement, aggravé d'un éblouissement relatif, par le fait que la brillance des lampes contrastait fortement avec un fond relativement sombre. On constatait surtout une scintillation aux extrémités des tubes luminescents, notamment en cas de vision indirecte. Le montage de verres opales supprima cet inconvénient. Il y a lieu de noter que cette surveillante, âgée de 45 ans, portait des lunettes, était très sensible aux changements de temps et souffrait souvent de migraines.

Une téléphoniste se plaignit d'être incommodée, durant le service de nuit, par le papillotage et de ne pas pouvoir porter ses lunettes (cornée très bombée) lorsque l'éclairage est assuré par des tubes luminescents. Les tubes à lumière du jour furent changés par des tubes à couleur blanche, qui améliorèrent sensiblement les conditions.

Une employée de bureau s'est également plainte d'une sensation désagréable provenant manifestement du papillotage des tubes luminescents. La couleur lumière du jour fut successivement remplacée par du blanc chaud, puis par du blanc, ce qui augmenta de plus en plus l'impression de confort. Il s'agit là d'un cas où les conditions de travail s'améliorèrent au fur et à mesure de l'augmentation du facteur de fluctuation de la lumière.

A la question «Le nouvel éclairage vous a-t-il donné satisfaction dès le début ou avez-vous tout d'abord dû vous y habituer?», il fut assez souvent répondu qu'une adaptation est nécessaire, non pas tellement à cause d'une fluctuation de la lumière, mais bien plutôt à cause d'autres caractéristiques du nouvel éclairage, telles que couleur de la lumière, système d'éclairage peu habituel, éclairement plus élevé, etc. Il est réjouissant de pouvoir constater que la plupart des personnes interrogées cherchent tout d'abord à se rendre compte des avantages du nouvel éclairage. Pour cela, une certaine durée d'adaptation est souvent indispensable, et il n'est pas toujours possible de juger d'une nouvelle installation d'éclairage d'après la première impression.

Quelques cas typiques

Les collaborateurs du groupe d'étude ont tenté, en dehors de l'enquête, de découvrir dans leur propre champ d'activité des cas de troubles et de les analyser. Les quelques cas exposés ci-après sont donc en marge de la statistique et doivent être considérés comme des particularités de cas individuels.

a) *Effet stroboscopique.* A un emplacement de réglage de mouvements d'horlogerie, les balanciers des montres sont comparés à un balancier-étalon, en vue de constater si leur fréquence s'écarte de la normale. Des lampes luminescentes ayant été substituées à l'ancien éclairage, un effet stroboscopique lors du mouvement des balanciers fut très visible. Toutefois, comme il s'agit uniquement de déterminer la durée de va-et-vient, cet effet stroboscopique cessa bientôt d'être gênant.

Dans un autre cas, il s'agissait de l'éclairage de machines à filer, où le déroulement du fil dans le sens axial donne l'image d'un cône, sous un éclairage ordinaire par lampes à incandescence. Après l'installation de tubes luminescents, ce cône disparut et fut remplacé par quelques images très nettes du fil. L'éclairagiste attira l'attention du personnel sur ce fait, qui facilite à son avis la vision, étant donné que l'image plus ou moins floue d'un cône est plus difficile à reconnaître que quelques images bien nettes du fil en rotation.

Un troisième cas concerne un atelier de lapidairerie où les meules horizontales donnent lieu à des effets stroboscopiques. L'ouvrier n'ayant toutefois pas à observer toute la meule, mais uniquement l'étroit où il pose la pierre précieuse, il n'a pas été nécessaire de modifier l'installation d'éclairage.

Aucun des rapports ne signale d'ailleurs qu'une modification de l'éclairage par lampes luminescentes ait été nécessaire uniquement à cause d'effets stroboscopiques.

b) *Papillotage dû au mouvement.* Dans deux cas, la suppression de l'éclairage à luminescence a permis d'éliminer ce papillotage. Dans l'un des cas, il s'agissait d'un emplacement de montage de pièces de bicyclettes, dont les parties polies provoquaient un papillotage et un éblouissement désagréables. Dans l'autre cas, il s'agissait d'affûtage de couteaux sur pierre fixe. Le mouvement régulier des couteaux se décomposait en phases nettes sous l'éclairage par tubes luminescents. Le chef de cet atelier déclara que ce phénomène était indésirable et fit en sorte que l'installation d'éclairage soit supprimée. En revanche, les ouvriers n'étaient guère gênés par ce phénomène, car ils affûtent les couteaux au jugé et n'observent pas particulièrement le chemin parcouru par ceux-là. Le contrôle et l'affûtage a d'ailleurs lieu au repos, de sorte qu'une lumière fortement oscillante n'est en réalité pas gênante.

c) *Changement d'installation d'éclairage.* C'est à ce propos que les observations sont les plus nombreuses. Elles ne sont toutefois pas très cohérentes, car des facteurs très différents interviennent. Lorsqu'un éclairage par lampes à incandescence est remplacé par des lampes à décharge, il en résulte généralement une augmentation de l'éclairement. En outre, la couleur de la lumière est modifiée, de sorte que les troubles mentionnés par les personnes questionnées peuvent parfois provenir d'autres causes que d'un papillotage.

Un cas spécial concerne la salle de dissection d'un institut d'anatomie. Le professeur interrogé au sujet de l'éclairage déclara qu'au début, après être demeuré longtemps dans la salle éclairée par des lampes à décharge, sa capacité de travail était fortement entravée lorsqu'il pénétrait ensuite dans sa chambre de travail éclairée par des lampes à incandescence. Il lui fallait un certain temps avant de pouvoir reprendre normalement son travail et il ressentait une gêne très nette. En sa qualité de savant, il renonça toutefois à se plaindre immédiatement et décida de laisser encore quelque temps la nouvelle installation d'éclairage en service, car il désirait se rendre compte si son impression désagréable disparaîtrait avec le temps. Au bout d'une dizaine de jours, ce professeur cessa en effet d'être gêné par cet éclairage. Il est en outre intéressant de noter qu'ayant été absent pendant six mois, il ne ressentit pas non plus d'impression désagréable lorsqu'il revint à nouveau dans cette salle de dissection.

Un autre cas particulier concerne un bureau commercial d'une fabrique de draps. Après l'installation de tubes luminescents, personne ne fit d'observation spéciale. Mais, le problème du papillotage ayant été discuté à la suite de la lecture d'une publication sur ce sujet, le propriétaire de l'exploitation déclara que le papillotage était fort gênant dans ce bureau. On renonça néanmoins à transformer l'éclairage. Entre temps, le propriétaire a fait changer les verres de ses lunettes!

Quelques autres propriétaires d'exploitations signalèrent que le passage continu d'un emplacement de travail à un autre, éclairé par des lumières différentes, provoque de la gêne. Dans un atelier de filature, une partie des machines étaient éclairées par des tubes luminescents et l'autre partie par des lampes à incandescence. Une ouvrière, qui devait souvent passer d'une série de machines à une autre pour les surveiller, se plaignit de ce changement des éclairages. Cette plainte était parfaitement justifiée, de sorte qu'il fut décidé d'éclairer toutes les machines de la même façon.

Enfin, dans le bureau d'une imprimerie, où on avait installé à titre d'essai quelques tubes luminescents à côté des lampes à incandescence, ce système fut naturellement considéré comme franchement mauvais. La faute retomba sur les tubes luminescents, qui furent si mal jugés par le reste du personnel, que le propriétaire n'osa plus entreprendre d'autres essais avec ces lampes!

Mesures à prendre pour éliminer les oscillations de la lumière

Le fait que la gêne continue ressentie par quelques personnes est de nature psychique et non physiologique, ne signifie pas que cela n'est pas désagréable pour ces personnes. Nous devons donc indiquer des mesures aptes à éliminer les oscillations de la lumière et propager l'emploi de ces mesures. Pour les réseaux à 50 Hz, on peut prendre les mesures suivantes:

a) Papillotage à 50 Hz aux extrémités des tubes luminescents: Protection contre la vue directe. Dans la lumière réfléchie, le papillotage à 50 Hz n'est jamais gênant.

b) Papillotage à 100 Hz: Dans les réseaux triphasés, trois sources identiques de lumière lumineuse peuvent être branchés aux trois phases; dans les réseaux monophasés, il est possible, grâce à un artifice de couplage, de faire fonctionner deux lampes luminescentes déphasées d'environ 90°⁷⁾.

Dans le cas des lampes fluorescentes, on a la possibilité d'utiliser une matière très fortement lumineuse.

La lumière fluorescente et la lumière de lampes à décharge peuvent être convenablement compensées par adjonction de lumière à incandescence.

Les objets en mouvement qui provoquent des effets stroboscopiques peuvent souvent être soustraits à la vue.

Conclusions

De ce rapport sur la nature et la fréquence des troubles provoqués par les fluctuations de la lumière et sur les possibilités d'y remédier, nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

Lorsqu'un éclairage est gênant, les facteurs qui entrent en jeu sont très complexes et ne peuvent pas toujours être définis individuellement. Le papillotage dû au mouvement ne gêne que relativement peu de personnes. Les troubles ressentis ne sont pas physiologiques, mais uniquement psychiques.

Les enquêteurs doivent veiller à ne pas poser de questions qui risqueraient de suggestionner inutile-

ment les personnes interrogées. Lorsque l'examen soigneux d'une réclamation a démontré que la cause de la gêne provient bien d'une lumière irrégulière, il y a lieu de prendre les mesures nécessaires pour y remédier. Les phénomènes stroboscopiques, surtout s'ils induisent en erreur sur le mouvement réel, doivent être complètement éliminés, car ils sont dangereux. D'une manière générale, le papillotage et les effets stroboscopiques ne sont pas suffisamment importants pour compenser les grands avantages des modes d'éclairage modernes.

Il existe divers moyens pour réduire le degré d'ondulation des sources lumineuses ou relever le facteur de fluctuation de la lumière. Nous renvoyons à ce sujet aux Recommandations générales pour l'éclairage électrique en Suisse⁸⁾.

Bibliographie

1) *Birkhäuser, R.*: Vergleichende Untersuchungen physiologisch-optischer Eigenschaften von bekannten und von neuartigen elektrischen Lichtquellen. Bull. ASE t. 35(1944), no. 17, p. 471...479.

2) Oscillations de la lumière à la fréquence du réseau et phénomènes de scintillement. Bull. ASE t. 36(1945), no. 9, p. 288.

3) *Goldmann, H., König, H., et Mäder, F.*: Bemerkungen über das Phänomen des Bewegungsflimmerns und die Definition des Welligkeitsgrades. Bull. ASE t. 37(1946), no. 2, p. 25...30.

4) *Bouma*: Das Flimmern elektrischer Lichtquellen. Philips⁷ techn. Rdsch. t. 6(1941), no. 10, p. 299...306.

5) *Andresen, E. G.*: Ueber die Welligkeit der Lichtemission bei wechselstrombetriebenen Leuchtstoff-Entladungsröhren. Licht t. 7(1937), no. 11, p. 235...238.

6) *Högger, D.*: Das Flimmern bewegter Teile im Lichte diskontinuierlich betriebener Gasentladungslampen und seine Bedeutung bei der Beleuchtung von Fabrikräumen. Bull. ASE t. 35(1944), no. 4, p. 90...95.

7) *Loeb, J.*: Etude d'un montage réduisant le papillotement des lampes à décharge. Bull. ASE t. 35(1944), no. 5, p. 111...116.

8) Recommandations générales pour l'éclairage électrique en Suisse, rédigées par le Comité Suisse de l'Eclairage, publiées par l'Association Suisse des Electriciens, 1939 (nouvelle édition en préparation).

Note récapitulative sur l'état actuel des vibrations de conducteurs et des moyens pour en éliminer les méfaits

Par *M. Preiswerk* et *G. Dassetto*, Lausanne

621.315.056.3

Cette note a été établie sur demande du Sous-comité des Vibrations du Comité des Conducteurs Aériens de la CIGRE. Après un court aperçu théorique sur la formation de vibrations dans les conducteurs aériens par l'action du vent et leurs conséquences, on expose les moyens qui permettent de les combattre et de les éliminer, soit: pinces de suspension convenables, appareils antivibratoires (renforceurs et amortisseurs) et conducteurs antivibratoires. Une bibliographie suit.

Im Auftrage des Unterkomitees für Schwingungen des Freileitungskomitees der CIGRE wurde vorliegender Bericht zusammengestellt. Nach einer kurzen theoretischen Abhandlung über die Entstehung der Schwingungen in den Leitern von Freileitungen und deren Folgen, verursacht durch Windwirkung, werden die Mittel besprochen, die erlauben, sie zu bekämpfen und zu beseitigen, nämlich: passende Tragklammern, Dämpfungseinrichtungen (Seilverstärker und Schwingungsdämpfer) und schwingungsfreie Seile. Eine Bibliographie schliesst die Arbeit ab.

Introduction

Le Sous-comité des Vibrations du Comité des Conducteurs Aériens de la Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à

haute tension (CIGRE) dans sa réunion du 1^{er} juillet 1939, après avoir constaté qu'il semble résulter que les moyens de lutter contre les vibrations sont assez nombreux, mis au point et effi-