

Flicker optique

Etat des lieux et recommandations

Résumé

Le flicker optique traduit le papillotement, le scintillement, voire le tremblement ou l'instabilité des sources de lumière. Il est reconnu que ce phénomène physique, perceptible ou non, peut engendrer des situations d'inconfort visuel, voire des troubles plus importants dans le cas de personnes particulièrement sensibles. Il est engendré par les fluctuations du courant d'alimentation des sources lumineuses. Ces sources sont plus ou moins sensibles à ce phénomène en fonction de leur technologie. Les LED de par leur nature électronique ont la plus forte sensibilité. Aussi, les systèmes d'éclairage basés sur ces composants présentent, plus que d'autres, un risque de générer des effets délétères chez les utilisateurs. Néanmoins, pour peu qu'on s'en donne les moyens, des solutions techniques au niveau des alimentations électroniques de ces systèmes permettent de se prémunir contre ces effets. Ces derniers peuvent également être quantifiés grâce à des mesures physiques réalisés sur les systèmes d'éclairage et par le calcul d'indicateurs permettant de rendre compte du niveau de flicker. De nombreux travaux de recherche et de synthèse ont été réalisés ces dernières années par les spécialistes du domaine qui ont aboutit à des publications techniques. Ces travaux ont notamment conduit à la création d'un nouvel indicateur de niveau de flicker P_{St}^{LM} qui devrait être adopté à relativement court terme dans le cadre du projet de nouvelle réglementation européenne concernant les appareils d'éclairage, « One single Lighting Regulation », actuellement en préparation.

Cet article se propose de faire un point détaillé sur ces aspects et de formuler quelques recommandations pour éviter de créer des installations d'éclairage potentiellement affectées par des phénomènes de flicker optique au détriment des utilisateurs.

Introduction

Flicker est un mot anglais. Il traduit le papillotement, le scintillement, voire le tremblotement ou l'instabilité des sources de lumière. Il peut être apprécié dans certains cas comme, en général, lorsque l'on s'éclaire à la chandelle, mais est le plus souvent perçu comme désagréable. Dans certains cas, il peut avoir des effets néfastes sur la santé pouvant aller jusqu'au déclenchement de crises d'épilepsies.

Le flicker ne date pas de l'arrivée des LED, déjà en 1880, on déposait un brevet pour limiter le flicker de lampes à arc avec brûleurs à charbons [1]. Mais il est vrai qu'avec leur temps de réponse particulièrement court, les LED sont très exposées à cette problématique. En fait, que l'on s'en aperçoive ou non, toutes les sources de lumière scintillent plus ou moins. Le problème est d'arriver à quantifier objectivement et simplement ce flicker afin de pouvoir fournir aux prescripteurs les données leur permettant de sélectionner le matériel à installer en prenant en compte cet aspect.

Définitions

Le terme technique générique qui semble désormais s'imposer, notamment au niveau des organismes de normalisation [2 - §2.4] est « Temporal Lighting Artefacts » (TLA) qui traduit de manière générale les variations temporelles indésirables de la lumière en intensité ou en couleur (spectre d'émission), périodique ou non. La principale cause de TLA dans les appareils d'éclairage électrique sont les variations du courant d'alimentation. Elles peuvent être prévues, ou incontournables comme les oscillations à 50Hz du secteur, induites par les accessoires de contrôle (gradateurs) ou encore liées à des perturbations ou des dysfonctionnements des systèmes électriques d'alimentation.

Les sources de lumière répondent plus ou moins à ces variations de tension. La lampe à incandescence par exemple, grâce à l'inertie thermique de son filament, est moins sensible aux oscillations du secteur à 50Hz qu'une lampe fluorescente à ballast électromagnétique. Par ailleurs, le flicker des tubes fluorescents a disparu avec les ballasts électroniques grâce à leur fonctionnement à 40kHz, bien trop élevé pour que l'œil le perçoive.

Avec l'arrivée des sources "LED" et leur temps de réponse très court, de l'ordre de la μ s, des variations de l'alimentation électrique peuvent ainsi devenir perceptibles, alors qu'elles ne le seraient pas avec les technologies traditionnelles. Celles-ci peuvent avoir différentes origines, comme des courants d'ondulation résiduelle en sortie des drivers, le recours à la « modulation de largeur d'impulsion (PWM) » pour régler le niveau d'éclairage avec une fréquence de fonctionnement trop basse, les fluctuations de tension sur le réseau électrique ou toute autre perturbation de la tension ou du courant d'alimentation.

La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) identifie 3 types de TLA. Le premier concerne le flicker, à proprement parler, qu'elle définit comme la perception de l'instabilité visuelle induite par un stimulus lumineux dont la luminance ou la distribution spectrale fluctue avec le temps, pour un observateur statique dans un environnement statique.

Elle distingue également deux autres types d'artefacts : les effets stroboscopiques d'une part, qui sont définis comme un changement de perception du mouvement induit par un stimulus lumineux dont la luminance ou la distribution spectrale fluctue avec le temps, pour un observateur statique dans un environnement non-statique et, à l'inverse, les « phantom array effects », termes difficiles à traduire en français, qui sont des images à différentes positions spatiales des objets, induites par un stimulus lumineux dont la luminance ou la distribution spectrale fluctue avec le temps, pour un observateur non statique dans un environnement statique (Figure 1).

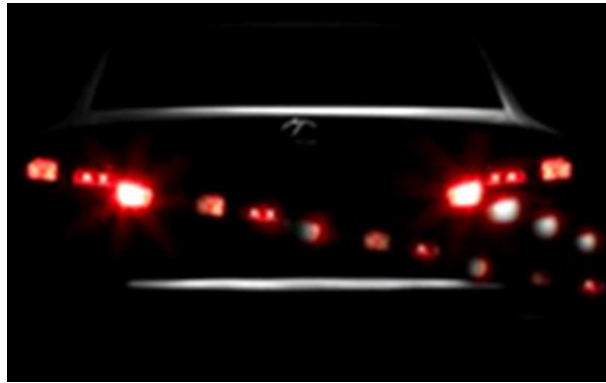


Figure 1: Phantom array effects [3]

Quantifier les TLA

L'indice de flicker et la profondeur de modulation

Les premières méthodes proposées pour quantifier le flicker sont assez simples de mise en œuvre. Elles reposent sur l'évaluation de « l'indice de flicker » et de la « profondeur de modulation » ou « pourcentage de flicker ». Elles ont été proposées par l'IES [4]. Ces caractéristiques se déterminent après avoir relevé le signal lumineux en fonction du temps, par les relations suivantes :

Pourcentage de flicker ou pourcentage de modulation : $MD = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}} \cdot 100\%$

Indice de Flicker : $FI = \frac{A1}{A1 + A2}$

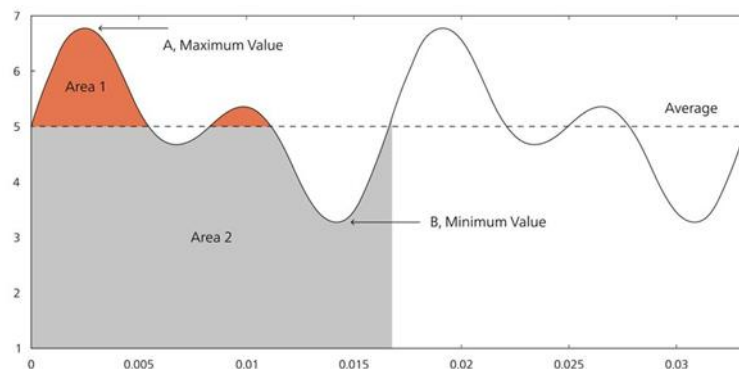


Figure 2: Indice de flicker et profondeur de modulation [5]

On le voit, à ce stade, ni l'un, ni l'autre ne prend en compte la ou les fréquences de modulation du flux émis. L'indice de flicker est considéré cependant comme plus « riche » que le pourcentage de flicker, car il est capable de différencier dans une certaine mesure l'effet lié aux formes de la modulation. On le constatera sur la figure 3 qui montre trois formes d'onde différentes à 120 Hz : triangulaires, sinusoïdales et carrées. Les représentations mathématiques de ces ondes permettent de calculer simplement leurs pourcentages et indices de flicker respectifs. Les trois formes d'onde ont des valeurs moyennes identiques, ce qui, s'il s'agissait de mesures du flux lumineux, équivaldrait à un flux lumineux moyen identique. Les calculs du pourcentage de flicker pour les trois formes d'onde sont également identiques (100%), tandis que les calculs d'indice de flicker produisent des résultats différents (0,25, 0,318 et 0,500 respectivement pour les formes triangulaires, sinusoïdales et carrées).

Bien que plus riche, l'indice de flicker est cependant moins utilisé dans la littérature scientifique sur le sujet, probablement parce qu'il est moins immédiat à évaluer [6].

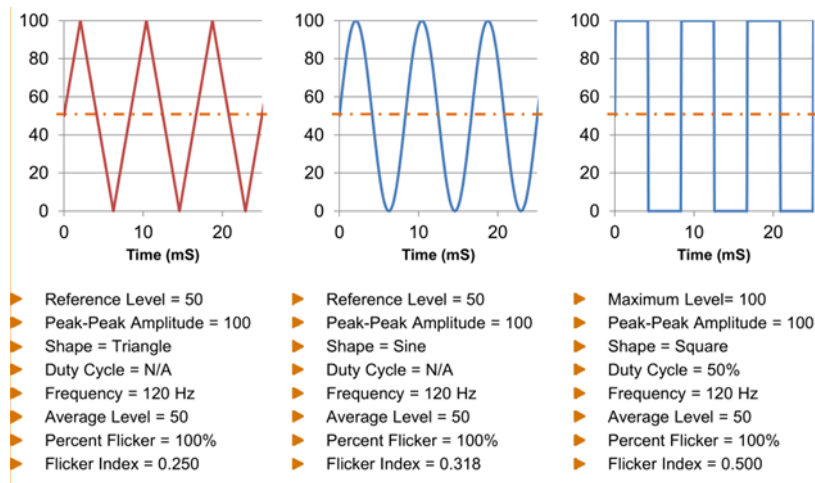


Figure 3 : Comparaison des résultats de pourcentage et indice de flicker pour 3 types de modulation [6]

La

Figure 4 donne des exemples de relevés de l'intensité lumineuse de différentes sources avec le pourcentage de flicker correspondant. Tous les produits testés scintillent à une fréquence d'environ 100 Hz (2x50Hz). Le pourcentage de flicker évolue suivant les produits de moins de 1% à plus de 90%.

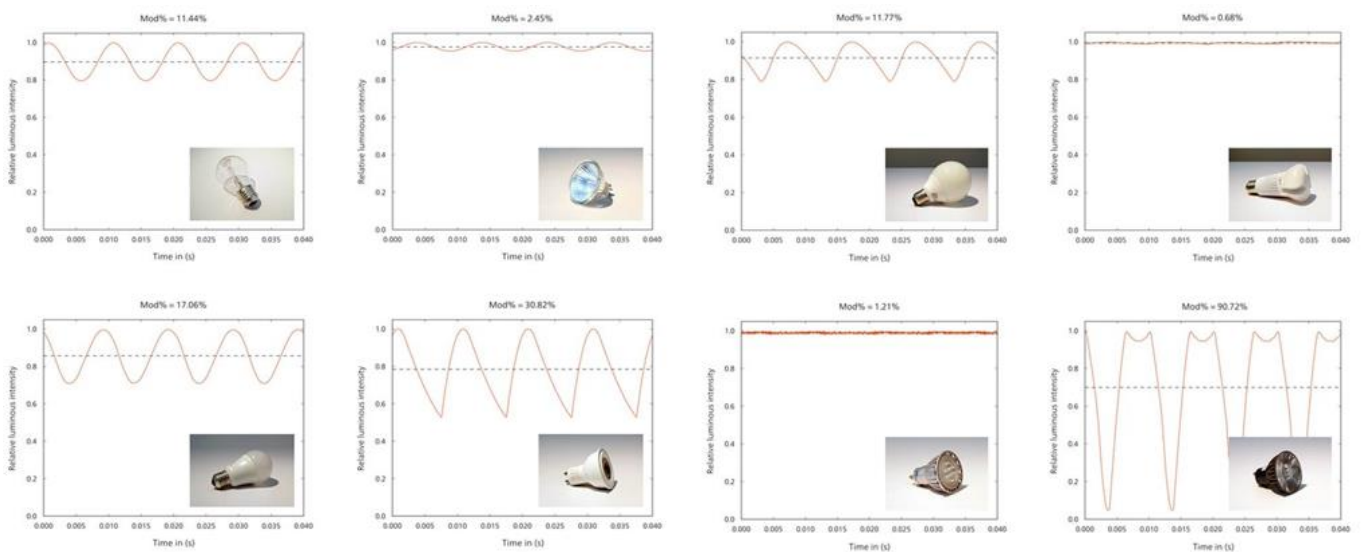


Figure 4 : Pourcentage de flicker relevé sur différents types de lampes [5]

1. High voltage halogen lamp (46 W, 700 lm, E 27)
2. Low voltage halogen lamp (35 W, 620 lm, GU 5.3)
3. Fluorescent lamp (15 W, 820 lm, 2.500 K, E 27)
4. LED Retrofit (18 W, 1.521 lm, 2700 K, dimmable, E 27)
5. LED Retrofit (10 W, 806 lm, 2.700 K, E 27)
6. LED Retrofit (4 W, 235 lm, 2700 K, GU 10)
7. LED Retrofit (5 W, 250 lm, 2700 K, GU 10)
8. LED Retrofit (10,4 W, 3.000 K, 390 lm, GU 10)

Ce que propose l'IEEE

Suite à ces travaux basés notamment sur une étude bibliographique particulièrement fouillée, l'IEEE a proposé des limites à ne pas dépasser pour éviter tout problème avec les TLA et défini ainsi une zone sans risque et une zone de risques faibles (Figure 5). Ces limites définissent un pourcentage de flicker à ne pas dépasser suivant la fréquence fondamentale de la modulation. La forme de la modulation et d'autres paramètres connus pour jouer un rôle ne sont pas pris en compte dans l'immédiat, faute de bases scientifiques.

Quelques exemples sont donnés. Par exemple, en Europe, il est fréquent que la fréquence de modulation résiduelle du flux lumineux des appareils d'éclairage soit à 100Hz (2 fois la fréquence du secteur). A cette fréquence, le pourcentage maximum de flicker pour rester dans un niveau à faible risque est $0,08 \times 100 \text{ Hz} = 8\%$. Pour garantir qu'aucun effet ne sera observable, le pourcentage de flicker doit rester inférieur à $0,0333 \times 100 \text{ Hz} = 3\%$ (arrondi au pourcentage le plus proche).

Dans le cas de gradation du niveau lumineux par une technologie PWM (modulation de largeur d'impulsion), le taux de flicker est de 100%, pour qu'il reste dans un niveau de risque faible, il faudra que la fréquence soit supérieure à 1,25kHz et à 3kHz pour garantir qu'aucun effet ne sera observable.

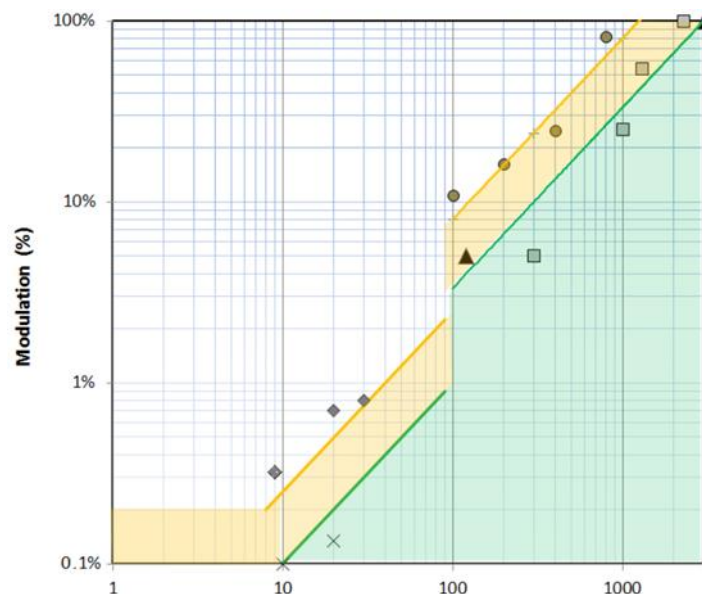


Figure 5: Zones de risque faible (orange) et de risque nul (vert) telles que définies par l'IEEE [7]

Cependant, les limites proposées ont fait réagir nombre d'associations professionnelles ou d'industriels impliqués dans l'éclairage (par exemple : Lighting Europe [8], NEMA [9], Philips [10]...). Ils reprochent à la métrique utilisée (le pourcentage de flicker) de ne pas prendre en compte la forme de la modulation qui jouerait un rôle essentiel dans la perception du flicker. Ils reprochent également à ces limites d'être trop strictes et indépendantes des applications et ainsi, d'imposer des surcoûts injustifiés à l'électronique de pilotage. Philips [11], par exemple, a expliqué que, si on s'en tient à ces critères, toutes les technologies d'éclairage présentent un risque (Figure 6).

Ils travaillent donc à établir une autre métrique et de nouvelles recommandations sous l'égide de la CIE (TC1-83). En l'occurrence, 2 métriques sont retenues : d'une part « la perceptibilité du flicker à court terme » ou P_{st} et d'autre part, la « mesure de la visibilité stroboscopique » ou SVM. Nous ne nous intéresserons ici qu'au P_{st} .

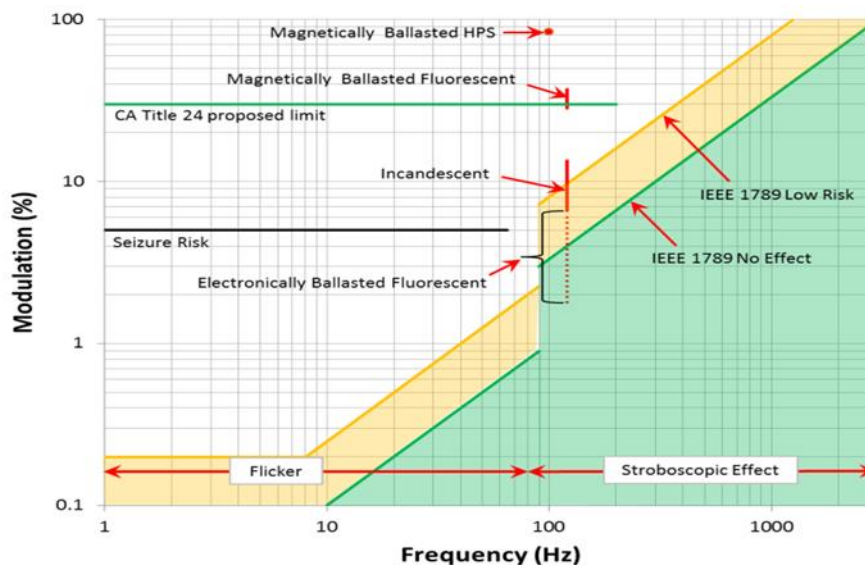


Figure 6: Position des technologies d'éclairage traditionnelles par rapport à la courbe de risque IEEE 1789 (Philips)[11]

Le point de vue de la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)

Dans sa note technique TN006 [12], la CIE a proposé d'utiliser la métrique P_{st} pour quantifier le flicker et en prédire la probabilité de sa perception par l'observateur. P_{st} traduit la « perceptibilité » du flicker sur de courtes périodes de temps (« st » pour Short Term). Pour $P_{st} = 1$, 50% d'un panel d'observateurs perçoit le scintillement de la lumière. Cette métrique a été initialement proposée par l'International Electrotechnical Commission (IEC) [13] comme moyen d'évaluer et limiter les fluctuations de la tension secteur induites par les commutations de charges sur le réseau d'alimentation électrique afin qu'elles ne soient pas visuellement perceptibles par le biais de l'éclairage électrique, en prenant la lampe à incandescence de 60W comme référence. La CIE propose de l'adapter pour quantifier le scintillement de la lumière quelle qu'en soit l'origine : fluctuations de la tension secteur, qualité des drivers de lampes, utilisation de la modulation de largeur d'impulsion (PWM) pour la gradation de l'éclairage...

La mesure de P_{st}

[16] A l'origine, les premiers instruments ne permettaient que l'observation des variations de l'intensité lumineuse. Un modèle a ensuite été mis en place afin de simuler les réactions de l'œil humain lorsque celui-ci était soumis à un flux lumineux variable. Ce premier modèle prenait comme référence des lampes à incandescence de 60 W alimentées en 230 V. La courbe de la Figure 7 indique le seuil de perception du flicker en fonction du pourcentage de fluctuation de la tension d'alimentation (axe des abscisses) et des fluctuations de la fréquence (axe des ordonnées). Pour des fluctuations d'amplitude ou de fréquence situées au-dessus de cette courbe, les effets du flicker présentent une gêne significative pour les personnes. En deçà de la courbe, les effets du flicker ne sont pas perceptibles.

Les premiers appareils de mesure étaient constitués de lampes à incandescence (60 W, 230 V), d'un capteur de flux lumineux et utilisaient un modèle analogique pour simuler les réactions de l'œil humain.

A la fin des années 80, un appareil de mesure du flicker standardisé [IEC 61000-4-15][13] basé sur la notion de P_{st} a été développé. La perceptibilité du flicker à court terme est calculée selon un processus statistique sur un intervalle d'observation normalisé de 10 minutes. L'algorithme de calcul a été choisi de telle sorte qu'une valeur P_{st} de 1 corresponde à un niveau de flicker pour lequel 50% des sujets exposés perçoivent le scintillement et le trouvent gênant.

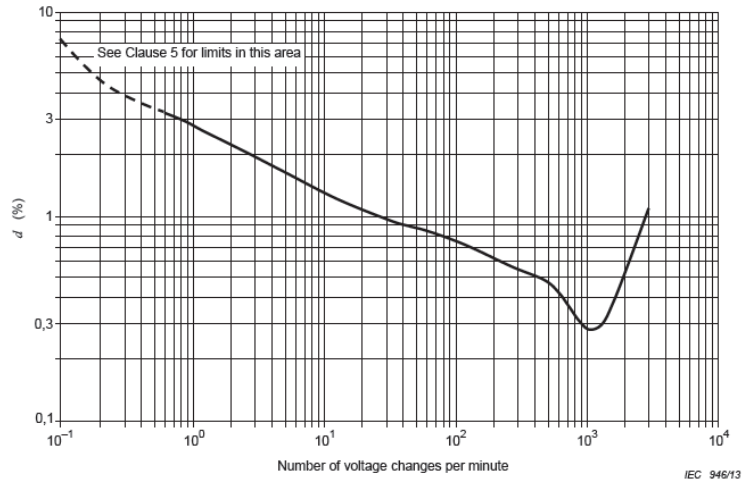


Figure 7 : Courbe de perception de flicker pour des variations de tension carrée appliquées à des lampes de 60W

Un nouvel indicateur : le P_{st}^{LM}

Plus récemment, les travaux de l'IEC ont conduit à faire évoluer la mesure de P_{st} et à publier l'IEC TR 61547-1[14]. Une première version de document a vu le jour en 2015 et a été rapidement suivie d'une seconde édition publiée fin 2017. Le but de ce document est de proposer un instrument de détection du flicker optique, ainsi qu'une méthode, pour tester de manière objective l'immunité du matériel d'éclairage contre les fluctuations de tension qui tient compte de l'évolution des technologies des sources lumineuses, notamment le déploiement massif des LED. L'IEC a ainsi défini un nouveau modèle de lampe de référence et introduit la métrique P_{st}^{LM} basée sur une mesure photométrique de la modulation de la lumière. Ce nouvel indicateur reflète mieux l'effet de flicker tel qu'il est perçu consciemment ou inconsciemment par l'utilisateur.

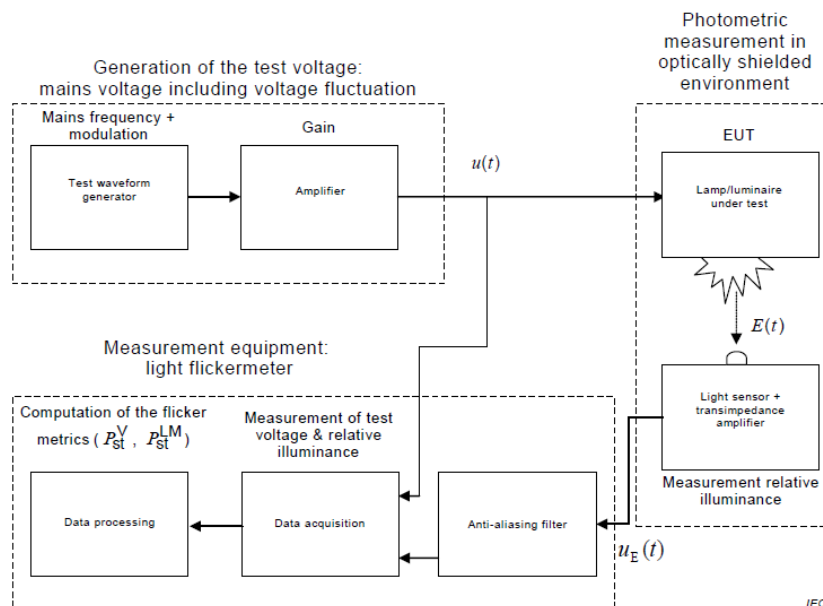


Figure 8 : Schéma de principe du système de mesure de flicker optique de l'IEC TR 61547-1[14]

Conclusion et perspectives

Nombre d'acteurs de l'éclairage considèrent que les métriques de profondeur de modulation ou d'indice de flicker ne permettent pas de prédire objectivement la visibilité du flicker et de l'effet stroboscopique pour un observateur moyen, car ils ne prennent pas en compte la fréquence, la forme de l'onde et le rapport cyclique de la modulation de la lumière. Ils recommandent d'utiliser de préférence la perceptibilité du flicker à court terme P_{st} comme métrique de référence. La méthode de mesure de P_{st} a été définie par la CIE. La commission travaille désormais à établir les limites acceptables à cette caractéristique de source de lumière suivant les applications. Ces spécifications ne concernent que le bien-être de l'observateur humain, en conséquence les interactions possibles des TLA avec des appareils électroniques (caméras, lecteurs de code-barre...) ne sont pas prises en considération dans le cadre de ces démarches.

Cependant, outre la définition des limites acceptables par rapport aux applications, de nombreux problèmes subsistent. Contrairement à ce qui pouvait se passer avec les lampes à incandescence, les TLA d'un système d'éclairage à LED ne dépendent pas uniquement de la source de lumière, mais également du driver et des conditions dans lequel il travaille (taux de charge, dimming...). L'évaluation du flicker d'un système d'éclairage LED n'a donc que peu de signification si l'ensemble de la chaîne et les conditions d'utilisation ne sont pas précisées.

En attendant la publication des documents normatifs statuant sur les méthodes de mesures précises et sur les limites à ne pas dépasser en termes de flicker, on peut conseiller aux fabricants de faire mesurer leurs produits avec les méthodes actuelles préconisées par la CIE, notamment les valeurs de P_{st}^{LM} sachant que des valeurs inférieures à 1 les rendront d'emblée compatibles avec toutes les applications.

Faire mesurer le P_{st}^{LM} et publier des valeurs respectant les prescriptions de l'IEC TR 61547-1 permettra aux fabricants de démontrer la qualité de leurs produits en matière de flicker optique mais également de se préparer de manière sereine à l'introduction de la nouvelle réglementation européenne sur les appareils d'éclairage appelée « One Single Lighting Regulation ». En effet, la Commission Européenne a d'ores et déjà prévu d'intégrer la mesure de P_{st}^{LM} dans un nouveau règlement, et ce dès 2020.

En France, certains acteurs du monde de l'éclairage (prescripteurs, fabricants) s'intéressent plus particulièrement au sujet. Anticipant des questionnements futurs, ils ont rendu la mesure du flicker optique obligatoire pour obtenir la certification délivrée par CERTILED®. C'est à ce jour le seul label de qualité connu intégrant le P_{st}^{LM} dans son référentiel.

Pour répondre à ces besoins, PISEO, organisme indépendant, s'est doté d'un des tous premiers systèmes de mesure du P_{st}^{LM} . Grâce à cela, certains fabricants ont déjà pu bénéficier de ce nouveau service.

Organismes contributeurs

[ASSIST](#) - Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies

[CIE](#) - Commission Internationale de l'Eclairage

[ENERGY STAR](#)

[IEA - 4E SSL Annex](#) - International Energy Agency

[IEC](#) - International Electrotechnical Commission

[IEEE](#) - Institute of Electrical and Electronics Engineers

[IESNA](#) - Illuminating Engineering Society of North America

[LIGHTING EUROPE](#)

[NEMA](#) - National Electrical Manufacturers Association

[CERTILED](#)

Bibliographie

1. Electric light US 227078 A - April 27, 1880
2. [Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models - CIE TN 006:2016](#)
3. [Temporal Light Artefacts \(Flicker + stroboscopic effect\) – Jim Gaines – Philips – The 10th Annual Solid-State Lighting Technology Development Workshop - Nov. 4, 2015](#)
4. IESNA Lighting Handbook. Edited by Mark Stanley Rea. 9th edition.
5. <https://www.dial.de/en/blog/article/ieee-1789-a-new-standard-for-evaluating-flickering-leds>
6. [Exploring flicker in Solid-State Lighting: What you might find, and how to deal with it](#) -
Michael Poplawski, Pacific Northwest National Laboratory &
Naomi J. Miller, FIES, FIALD, Pacific Northwest National Laboratory
7. [IEEE Recommended Practices for Modulating Current in High Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers - IEEE Std 1789™ - 2015](#)
8. LightingEurope - Position Paper on Flicker and Stroboscopic Effect (Temporal Light Artefacts), September 2016
9. [NEMA Position Paper, Temporal Light Artifacts \(Flicker and Stroboscopic Effects\), 2015- 06-15](#)
10. [Position Paper on Temporal Light Artefacts, i.e. flicker and stroboscopic effect – Philips Lighting B.V. The Netherlands](#)
11. [Temporal Light Artifacts \(Flicker + Stroboscopic Effect\) - Jim Gaines - Philips Lighting – Nov. 2015](#)
12. [Technical Note 006-2016 - Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models - CIE](#)
13. IEC 61000-4-15 Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and Measurement Techniques - Flickermeter - Functional and Design Specifications
14. IEC TR 61547-1, "Equipment for general lighting purposes – EMC immunity requirements – Part 1: An objective voltage fluctuation immunity test method", 2nd edition, 2017
15. IEC 61000-3-3, "Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16A per phase and not subject to conditional connection", 3rd edition, 2013
16. [Méthodologie de mesure du flicker - Zbigniew Hanzelka & Andrej Bien - AGH Université de Sciences et Technologie - Septembre 2008](#)

A propos de PISEO :

PISEO est un centre d'expertise indépendant spécialisé dans l'intégration des technologies photoniques (LED, VCSEL, Diodes laser, capteurs, phosphores, matériaux optiques...). Dotés d'une forte culture industrielle, la société crée de la valeur pour des clients appartenant à différents secteurs d'activité en réalisant des missions d'analyse stratégique, de recherche, d'innovation, de conception, d'expertise, de mesures et essais et de formation dans le domaine des systèmes optiques.

PISEO dispose, en outre, d'un laboratoire de caractérisation photométrique et radiométrique accrédité par le COFRAC. La portée d'accréditation de PISEO portant le numéro 1-5992 peut être consultée sur le site du COFRAC (www.cofrac.fr).

Contact :

04 26 83 02 25

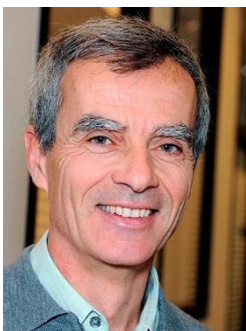
contact@piseo.fr

www.piseo.fr



Auteurs :

Patrick Mottier, Directeur scientifique de PISEO



Joël Thomé, Directeur de PISEO

