

JOURNÉE
TECHNIQUE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

**ÉCLAIRAGE DES LIEUX
DE TRAVAIL**
SANTÉ ET SÉCURITÉ DES SALARIÉS

MARDI 31 MARS 2026

Modulation temporelle de la lumière : comprendre les risques

Christophe Martinsons
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)

Christophe.martinsons@cstb.fr

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Au service des acteurs du bâtiment et de la construction

1038

collaborateurs*

répartis sur 4 établissements

105

Nantes

117

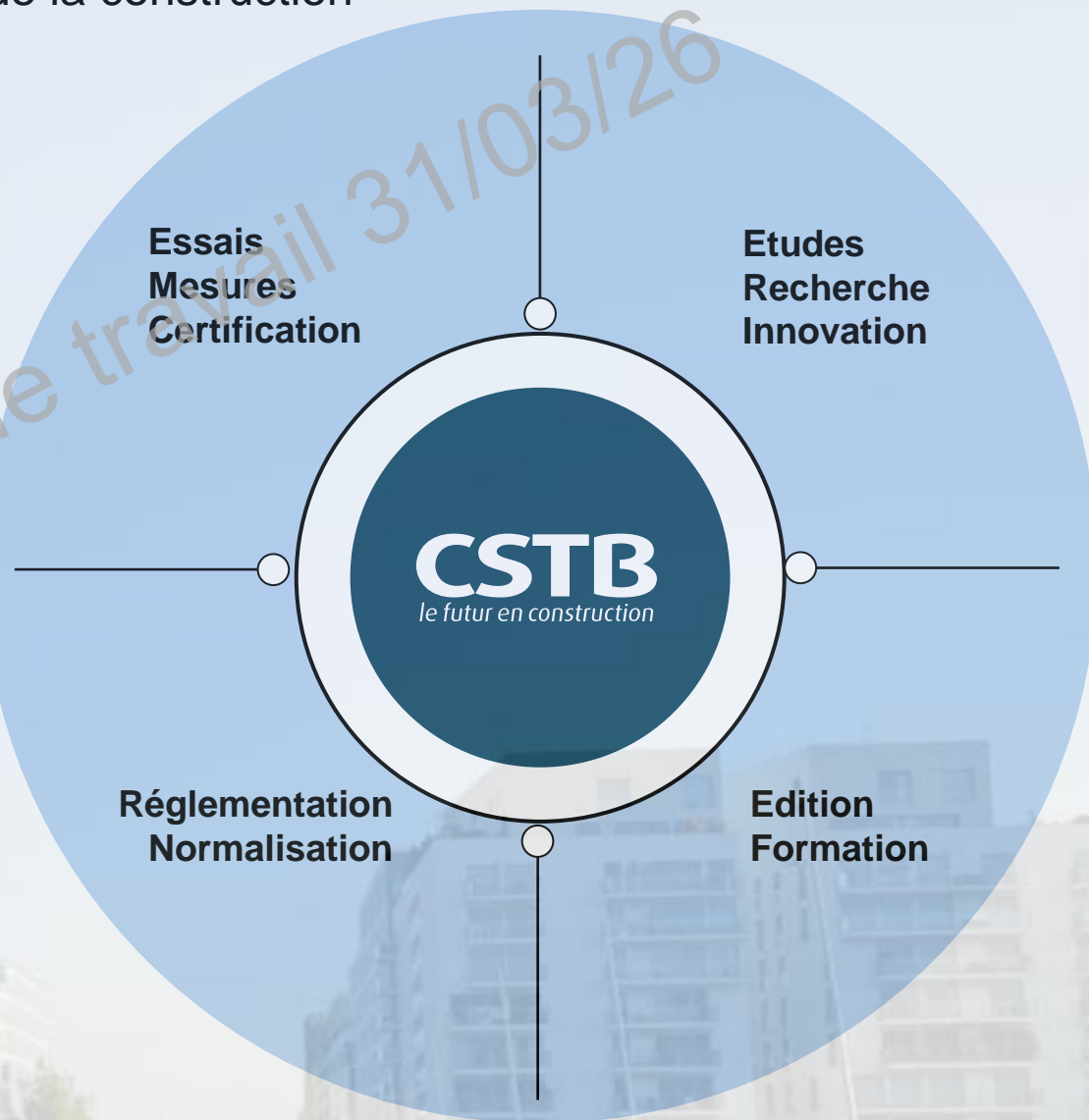
Grenoble

749

Champs-sur-Marne

68

Sophia Antipolis



Mesures en laboratoire des sources de lumière artificielle



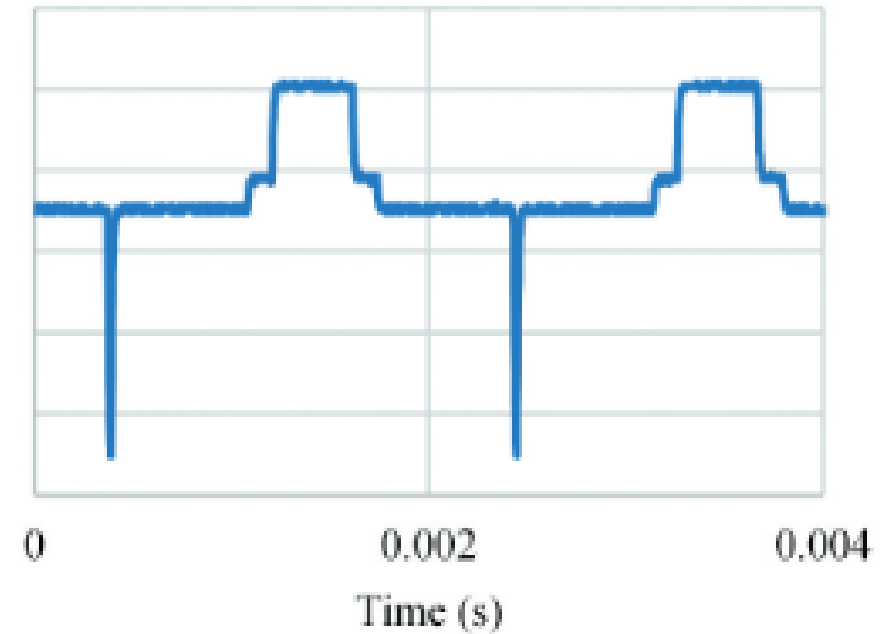
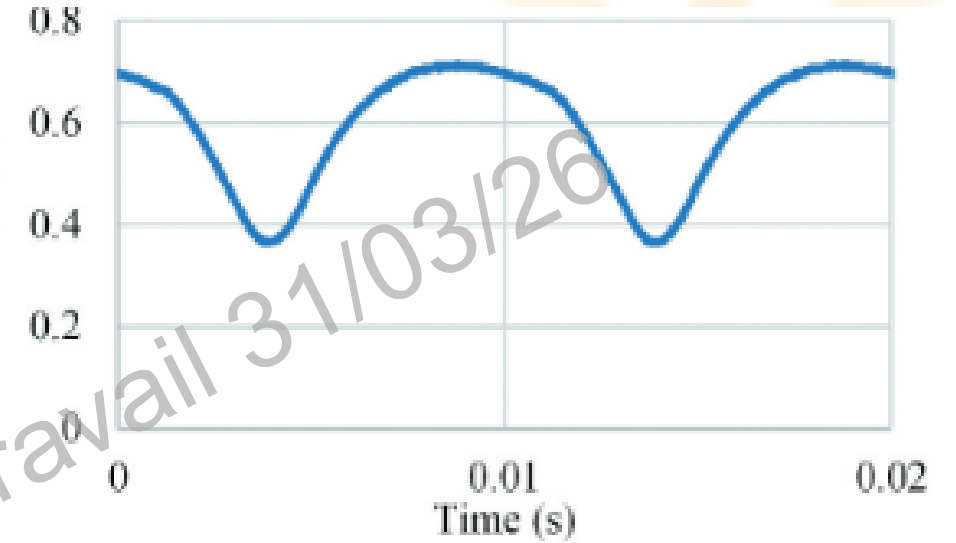
©CSTB

Sphère d'intégration
du CSTB Grenoble

On constate que la lumière est émise avec des fluctuations rapides

C'est la modulation temporelle

Elle est d'origine électrique



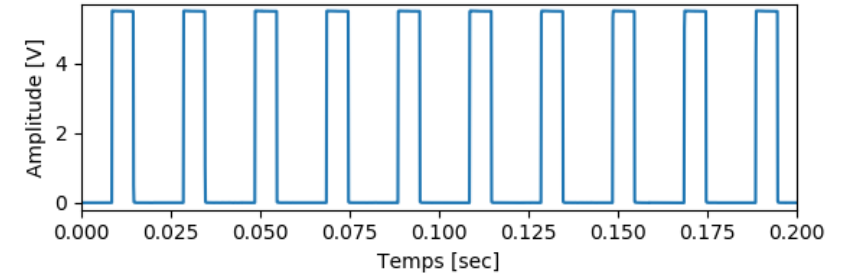
JT Eclairage des lieux de travail 31/03/26

La modulation temporelle apparaît aussi avec les gradateurs de lumière de type PWM

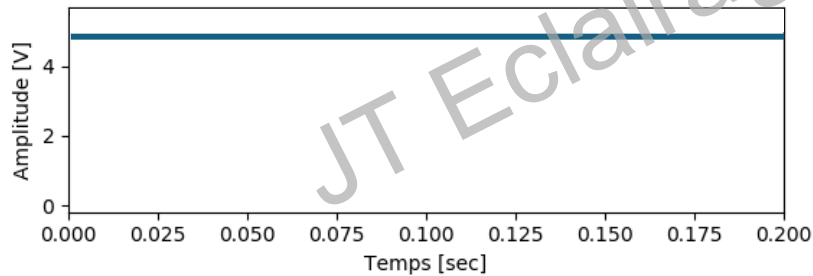


©C.Martinsons

Intensité 30%



Intensité 100 %



©C.Martinsons

La modulation temporelle est souvent invisible et ne produit pas toujours de papillotement (flicker).

Si les gens ne voient pas la modulation temporelle, alors est-ce vraiment important ?

→ OUI ! C'est très important

JT Eclairage des lieux de travail 31/03/2016

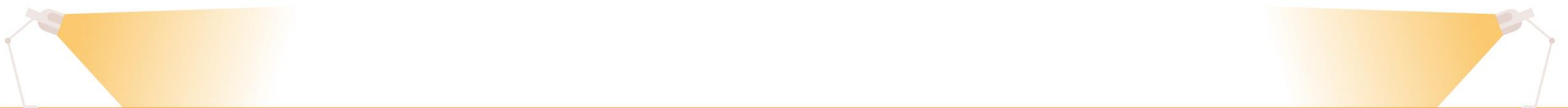


La modulation temporelle, même invisible, induit une activité dans le cerveau.

- La modulation à 100 Hz n'est pas perçue comme un scintillement,
- Elle affecte les réponses neuronales même sans perception consciente.

La modulation temporelle influence l'activité cérébrale, avec des implications pour la performance cognitive et la santé.

Importance de prendre en compte à la fois les effets visuels et non visuels de la TLM sur l'activité neuronale, en particulier chez les personnes sensibles au stress visuel.



Interférences avec la lecture

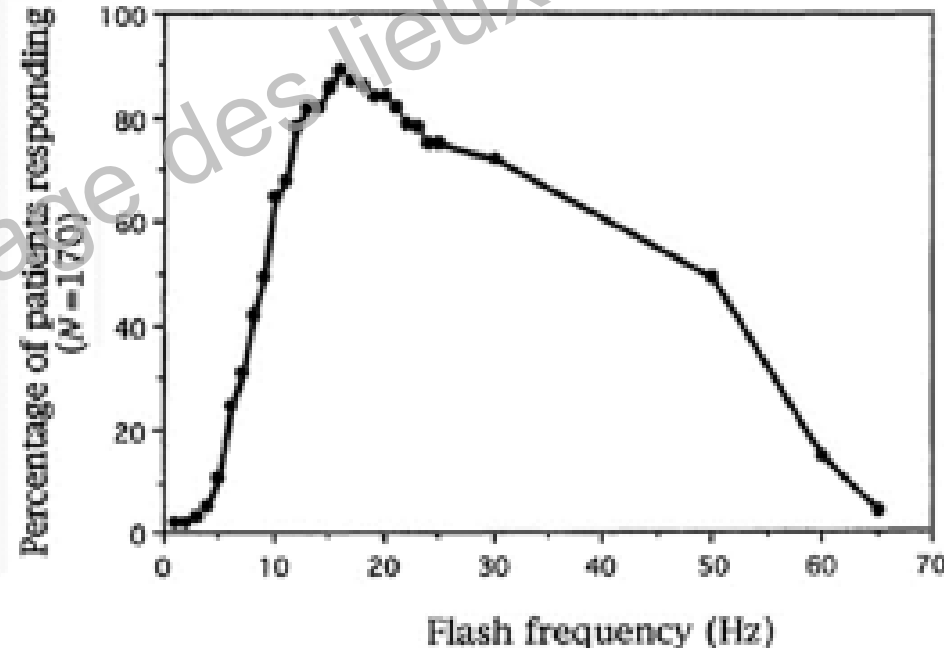
- Les mouvements oculaires sont contrôlés par des informations visuelles obtenues lors de chaque saccade.
- A. Wilkins a montré en 1986 que la modulation temporelle perturbe les mouvements oculaires : les saccades sont trop longues.
- Davantage de saccades correctives sont nécessaires pour réaligner les deux yeux (correction de vergence).
- Augmentation de la fatigue visuelle, ralentissant la performance.

JT Eclairage des lieux de travail 31/03/26



Déclenchement de crises d'épilepsie

- Crises déclenchées par des fréquences entre 3 Hz à 70 Hz,
- Sensibilité accrue avec la lumière rouge,
- Sensibilité accrue en vision centrale.



Personnes sensibles, personnes les plus exposées

Personnes sensibles :

- les personnes souffrant de migraines (déclenchement de maux de tête),
- les personnes sensibles à l'éblouissement (idem),
- les personnes souffrant (ou ayant souffert) d'un traumatisme crânien.

Personnes très exposées :

- Travailleurs exposés aux lampes/tubes fluorescents avec ballast ferromagnétique, des gradateurs pour LED de type PWM, des luminaires/lampes LED non conformes aux exigences du règlement européen.
- Conducteurs et piétons la nuit (modulation = contraste : plus marqué la nuit)

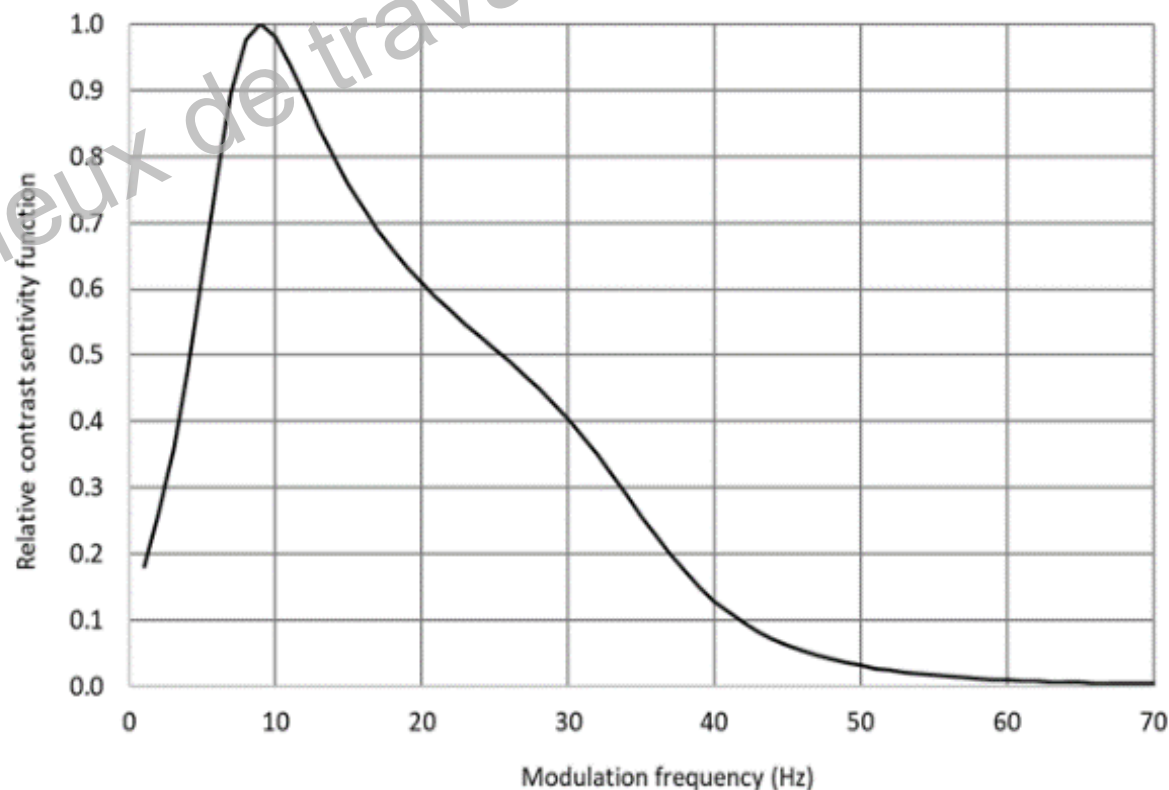


L'indice de papillotement PstLM

IEC TR 61547-1:2020

$P_{stLM}=1$: 50% de chance d'être gêné visuellement par le papillotement

Courbe de visibilité au papillotement utilisée dans le calcul de PstLM : Maximum vers 10 Hz



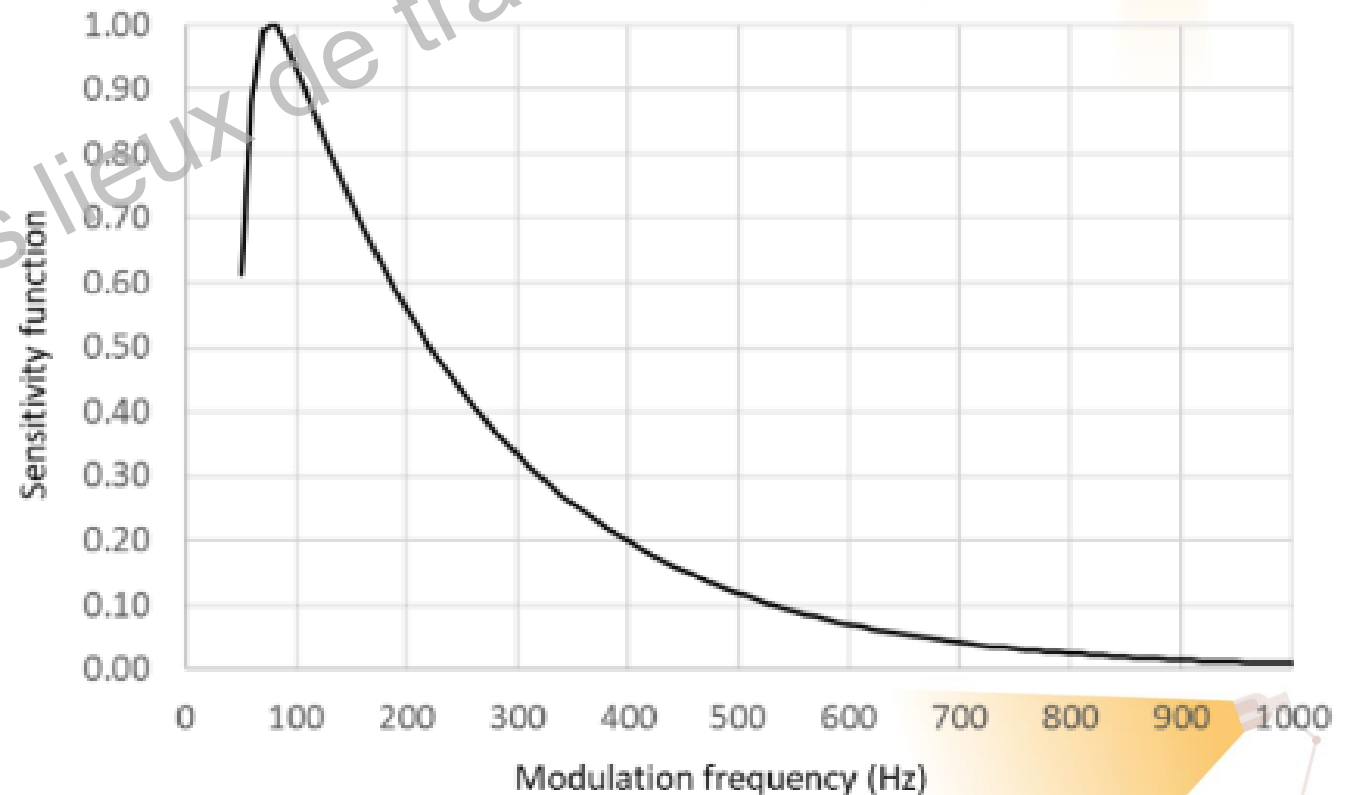
SVM, l'indice de visibilité stroboscopique basé sur des expériences dans des environnements de bureau de jour

IEC/TR 63158:2018

SVM = 1 : 50% de voir l'effet stroboscopique



Courbe de sensibilité utilisée dans le calcul de SVM
Maximum autour de 80 Hz



Effets stroboscopiques liés aux machines, aux outils tournants et oscillants



Pas d'indice normalisé
SVM non applicable

- Exiger des éclairages avec le plus bas niveau de modulation temporelle possible,
- Eviter les gradateurs PWM.

L'effet de réseau fantôme



L'effet de réseau fantôme

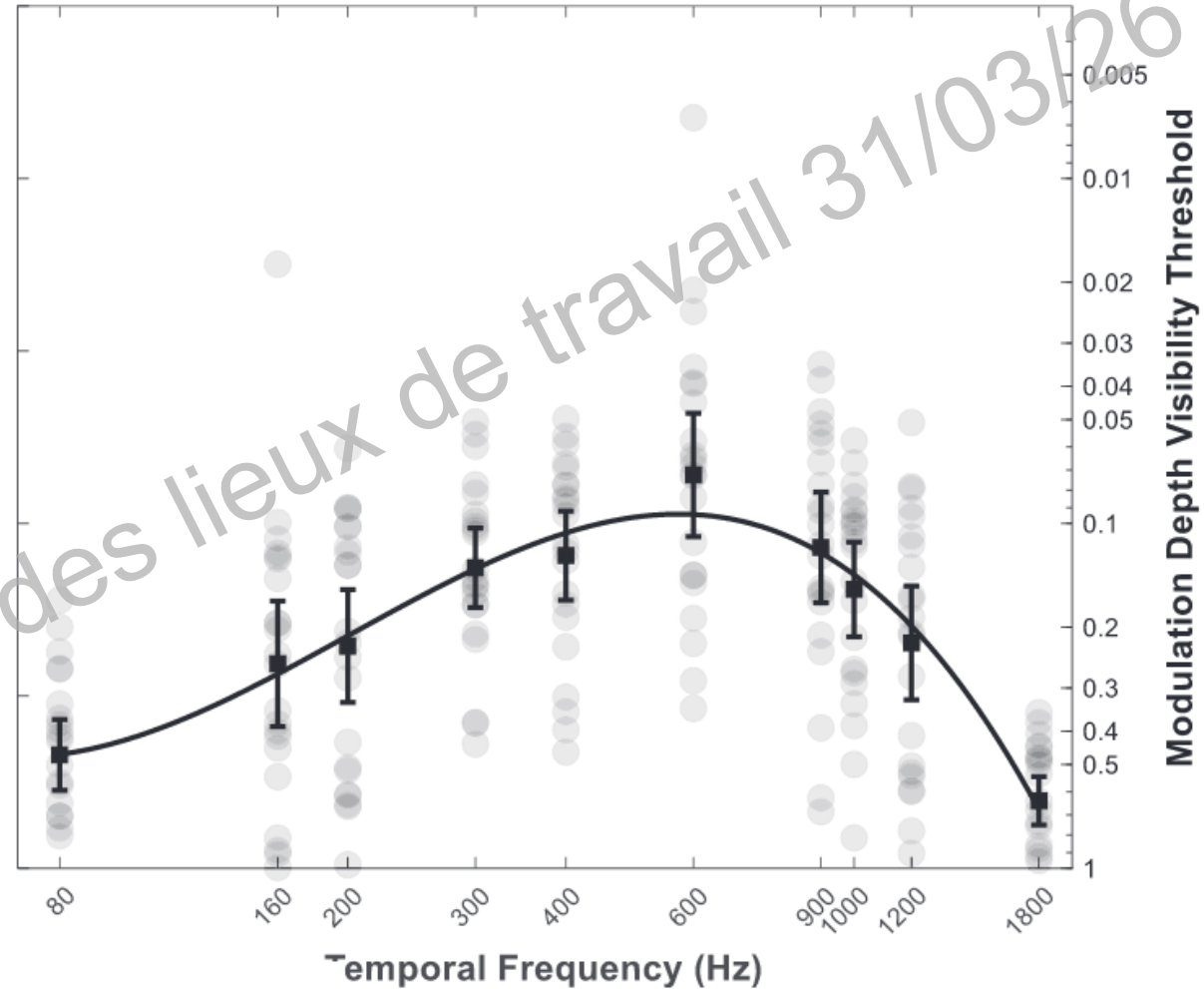


L'effet de réseau fantôme en éclairage intérieur



Courbe de sensibilité à l'effet de réseau fantôme

Visibilité maximale à 600 Hz
(10% de lumière modulée suffisent)



Code du travail

Article R4223-8

Créé par Décret n°2008-244 du 7 mars 2008 - art. (V)

Les dispositions appropriées sont prises pour protéger les travailleurs contre l'éblouissement et la fatigue visuelle provoqués par des surfaces à forte luminance ou par des rapports de luminance trop importants entre surfaces voisines.

Les sources d'éclairage assurent une qualité de rendu des couleurs en rapport avec l'activité prévue et ne doivent pas compromettre la sécurité des travailleurs.

Les phénomènes de fluctuation de la lumière ne doivent pas être perceptibles ni provoquer d'effet stroboscopique.

JT Eclairage des lieux de travail 31/03/26



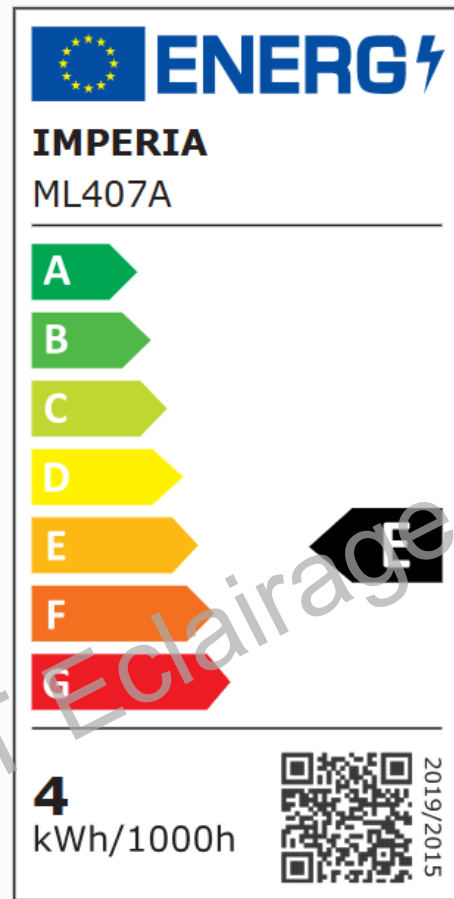
Règlement européen d'éco-conception des lampes et produits d'éclairage UE 2019/2020

Exigences réglementaires :

- $P_{stLM} \leq 1$ à pleine charge,
- $SVM \leq 0,4$ à pleine charge, pour les éclairages intérieurs.



Règlement européen d'étiquetage des lampes et produits d'éclairage UE 2019/2015

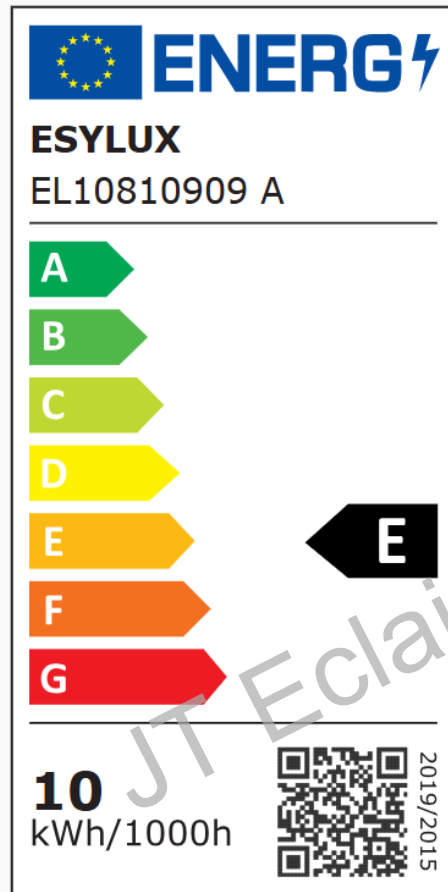


PARAMÈTRES POUR LES SOURCES LUMINEUSES SECTEUR LED ET OLED:

Facteur de déphasage		0,54
Constance des couleurs dans les ellipses de MacAdam		6
Déclaration qu'une source lumineuse LED remplace une source lumineuse fluorescente sans ballast intégré d'une puissance en watts particulière		Non
Mesure du papillotement	P_{st}^{LM}	1,0
Mesure de l'effet stroboscopique	SVM	0,4

Ces valeurs sont exactement les limites réglementaires
Elles ne proviennent certainement pas de mesures...

Règlement européen d'étiquetage des lampes et produits d'éclairage UE 2019/2015



PARAMÈTRES POUR LES SOURCES LUMINEUSES LED ET OLED:

Indice de rendu des couleurs R9	-2
Facteur de survie	0,90
Facteur de conservation du flux lumineux	0,96

PARAMÈTRES POUR LES SOURCES LUMINEUSES SECTEUR LED ET OLED:

Facteur de déphasage	0,88
Constance des couleurs dans les ellipses de MacAdam	4
Déclaration qu'une source lumineuse LED remplace une source lumineuse fluorescente sans ballast intégré d'une puissance en watts particulière	Non
Mesure du papillotement	0,2
Mesure de l'effet stroboscopique	1,2

Non conforme au règlement EU 2019/2020

Instruments portables pour mesurer la modulation temporelle



Influence de la lumière du jour
Pas encore de norme pour les
mesures in situ