



HAL
open science

L'éclairage favorable à la santé : un webinaire sur l'état des connaissances

Christophe Martinsons

► To cite this version:

Christophe Martinsons. L'éclairage favorable à la santé : un webinaire sur l'état des connaissances. École thématique. Bien-être et santé dans les espaces habités, Paris, France. 2025, pp.66. hal-05110096

HAL Id: hal-05110096

<https://cstb.hal.science/hal-05110096v1>

Submitted on 12 Jun 2025

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License



Eclairage favorable à la santé

 **Jeudi 12 juin**

 **11h à 12h**

CSTB
le futur en construction



Animé par Christophe MARTINSONS
Ingénieur recherche et expertise



Eclairage favorable à la santé

 **Jeudi 12 juin**

 **11h à 12h**

CSTB
le futur en construction

“

Un levier pour améliorer le confort des espaces de vie

AU PROGRAMME

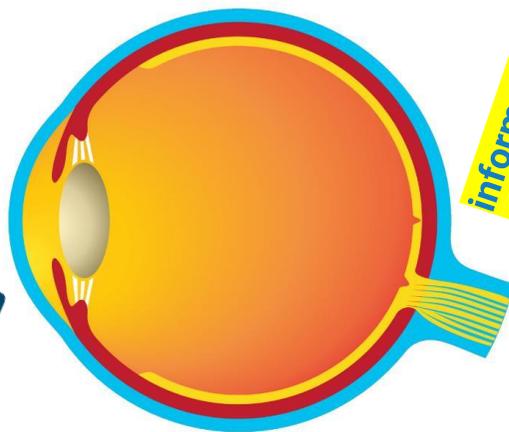
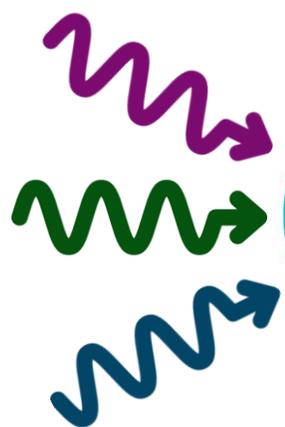
- Lumière, rythmes circadiens et santé
- Les effets néfastes de la modulation temporelle
- Les LED et les éblouissements
- Les luminaires ont-ils des effets néfastes à long terme
- Session de questions/réponses

lumière

œil

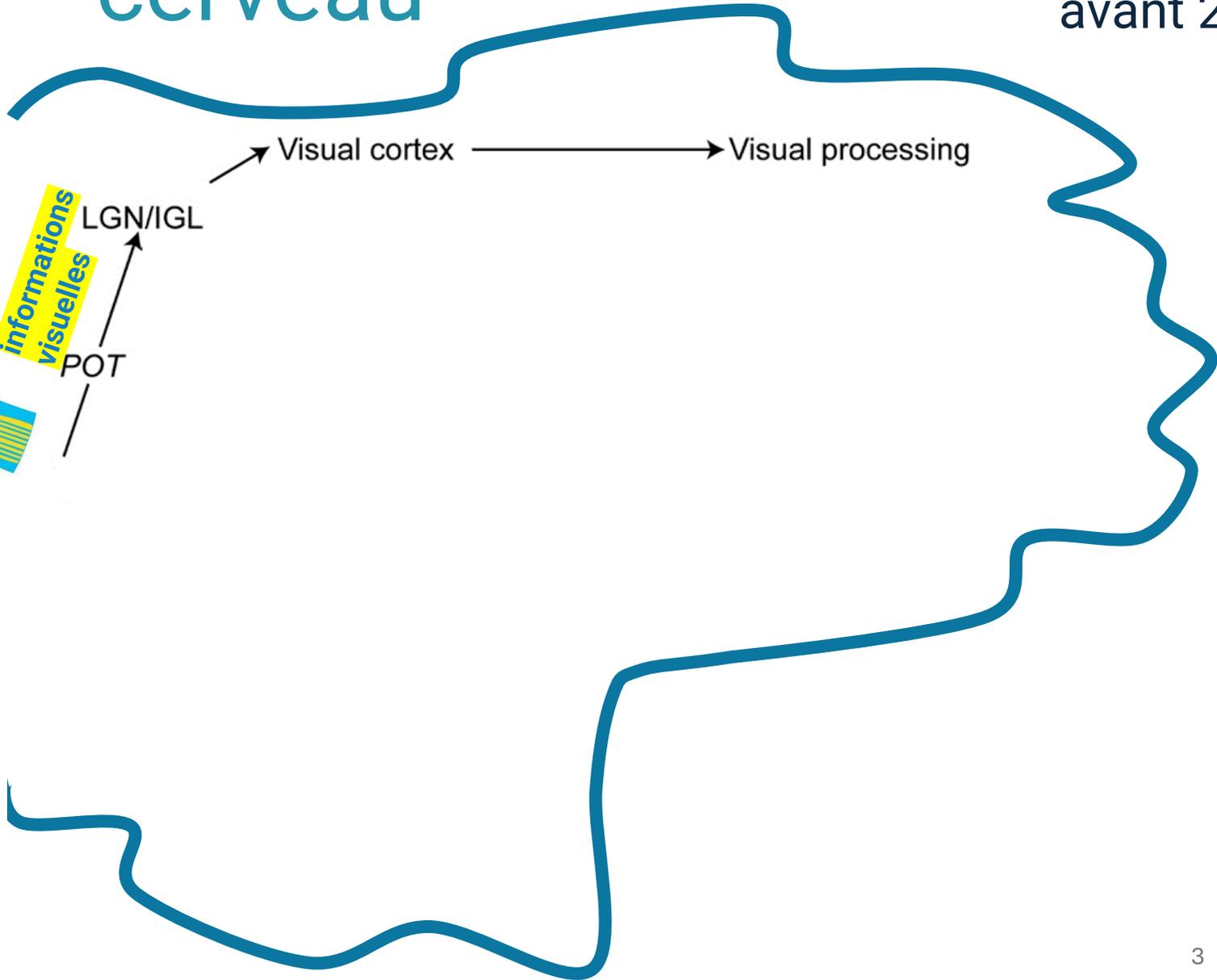
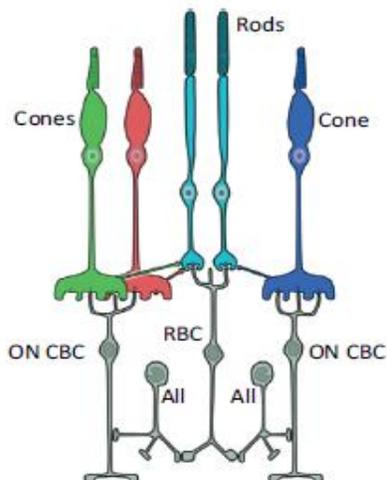
cerveau

avant 2001



informations visuelles
POT
LGN/IGL

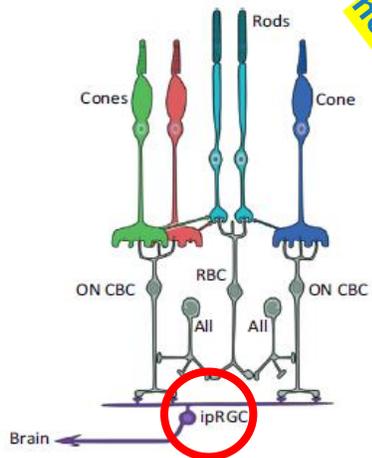
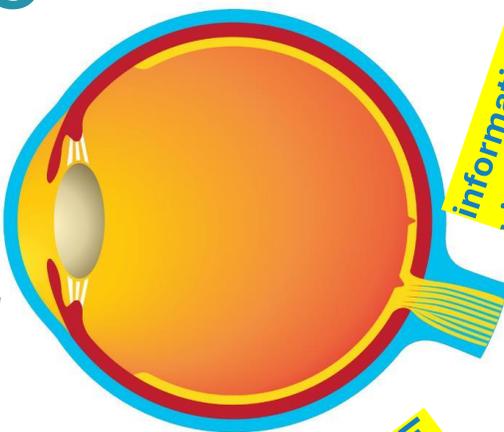
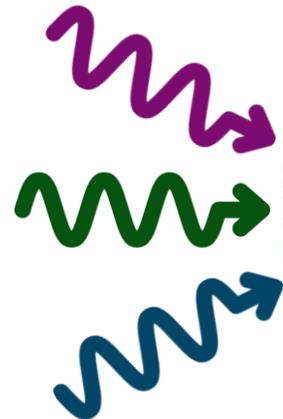
Visual cortex → Visual processing



lumière

œil

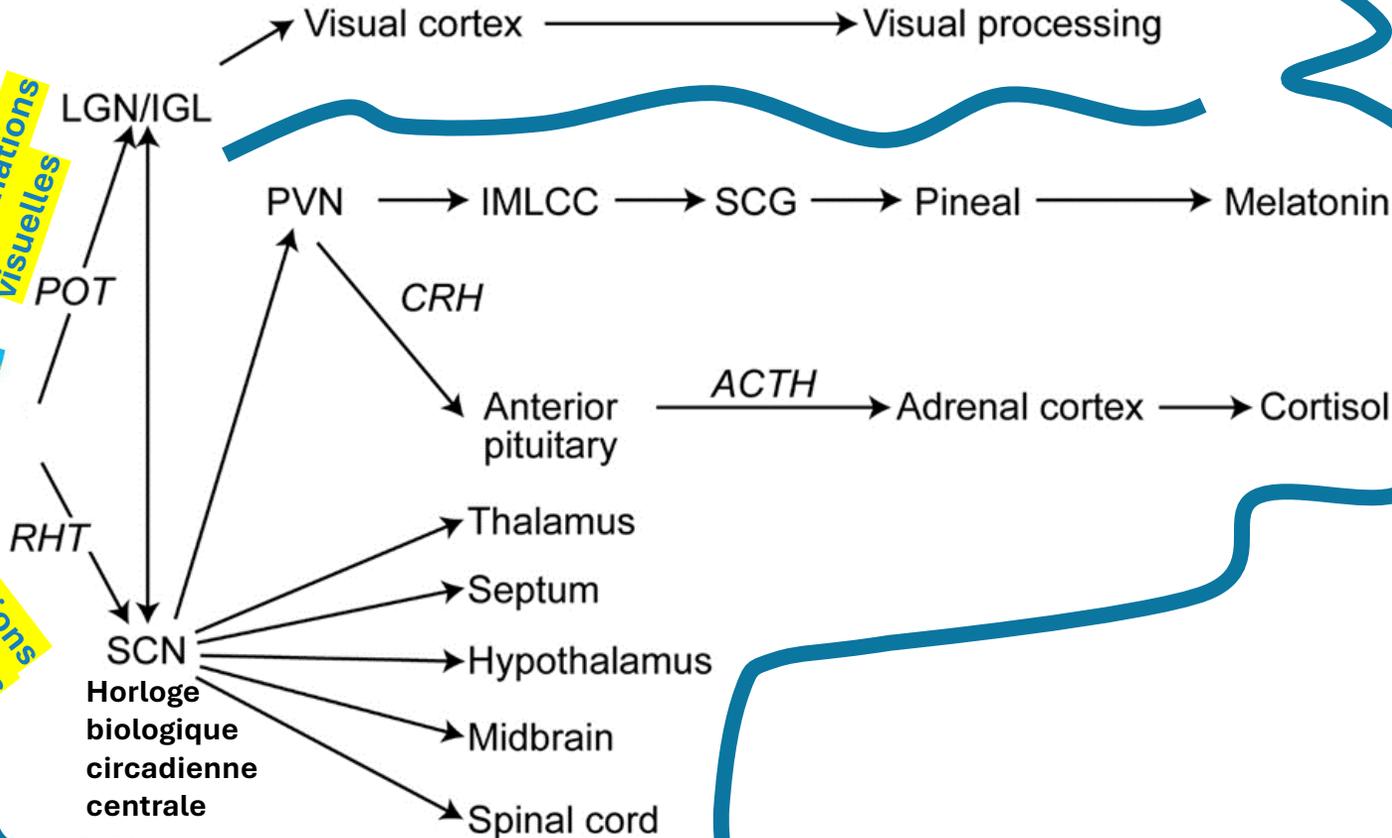
cerveau

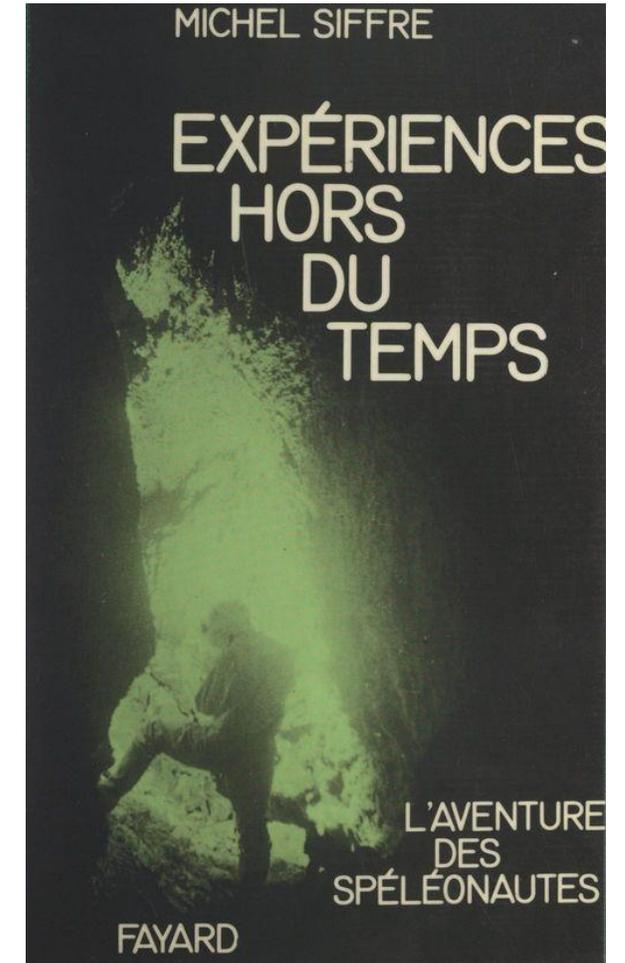
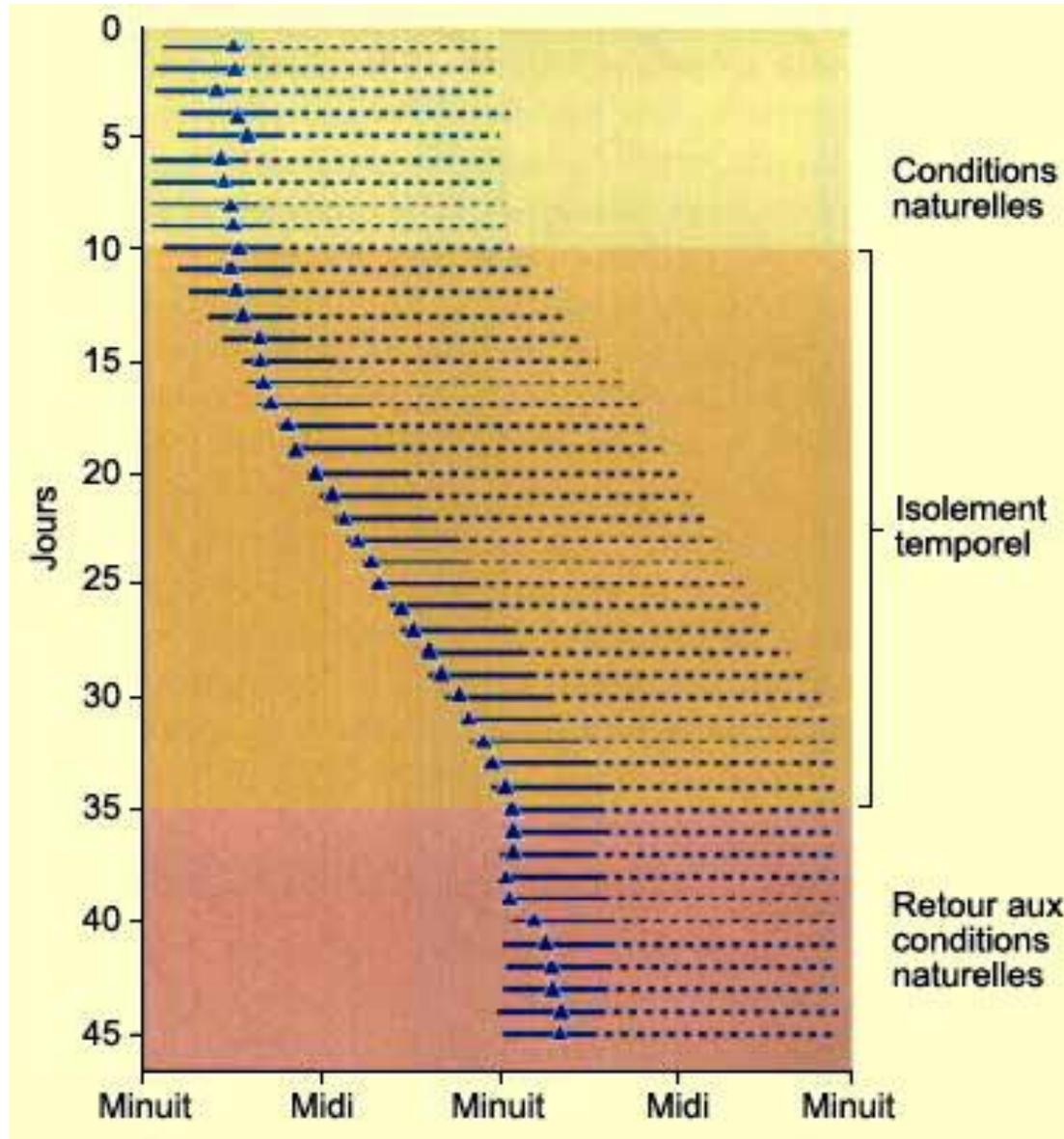


Cellules ganglionnaires à mélanopsine
-- ipRGC --

Informations
visuelles

Informations
non visuelles





https://lecerveau.mcgill.ca/flash/a/a_11/a_11_p/a_11_p_hor/a_11_p_hor.html

A votre avis, quelle est périodicité intrinsèque du rythme circadien chez l'homme ?

1. Exactement 24 heures
2. Entre 23.5 heures et 24.6 heures
3. Exactement 24 heures et 9 minutes

Réponse 2 : Entre 23.5 h et 24.6 h pour 95% des adultes en bonne santé !

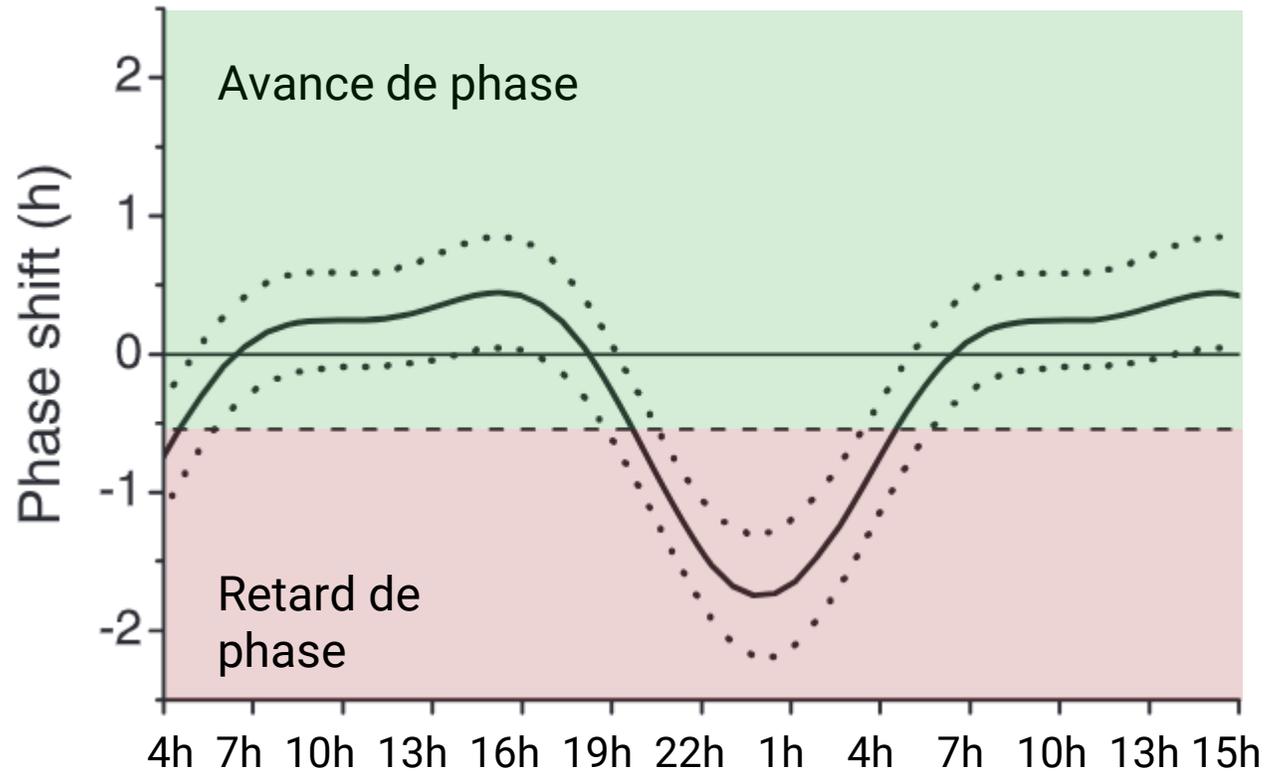
(en moyenne : 24 h 9 minutes)

Remarque :

La période circadienne intrinsèque est significativement plus courte chez les femmes (24 h 5 min) que chez les hommes (24 h 11 min)

Une proportion significativement plus élevée de femmes ont une période circadienne intrinsèque inférieure à 24 h (35 % contre 14 % chez l'homme).

**La lumière est le principal signal de
synchronisation de l'horloge
biologique avec le cycle de 24 h**

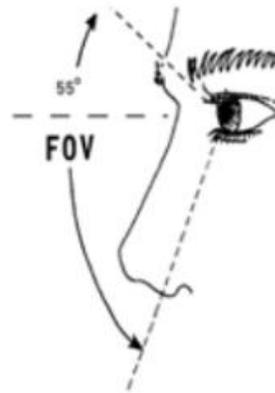


Exposition lumineuse matin / après-midi
Avance l'horloge biologique
L'endormissement arrive plus tôt

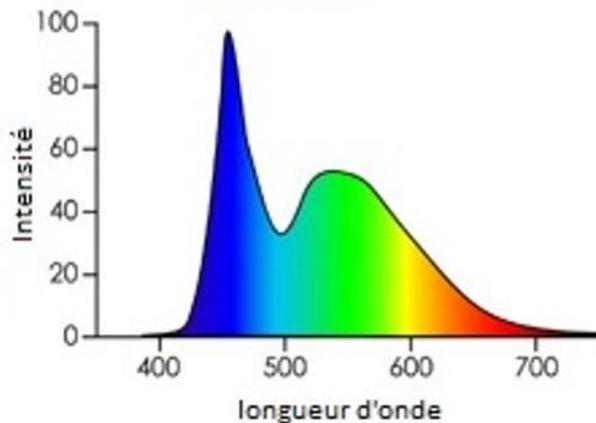
Exposition lumineuse en soirée
Retarde l'horloge biologique
L'endormissement arrive plus tard

St Hilaire, M. A., Gooley, J. J., Khalsa, S. B. S., Kronauer, R. E., Czeisler, C. A., & Lockley, S. W. (2012). Human phase response curve to a 1 h pulse of bright white light. *The Journal of Physiology*, 590(13), 3035–3045.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.227892>

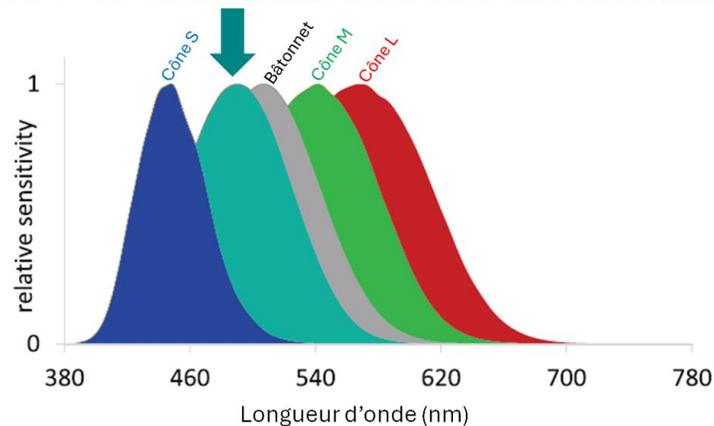
Éclairage "m-EDI", en lux



mesure dans le plan de l'œil



ipRGC cellules ganglionnaires à mélanopsine



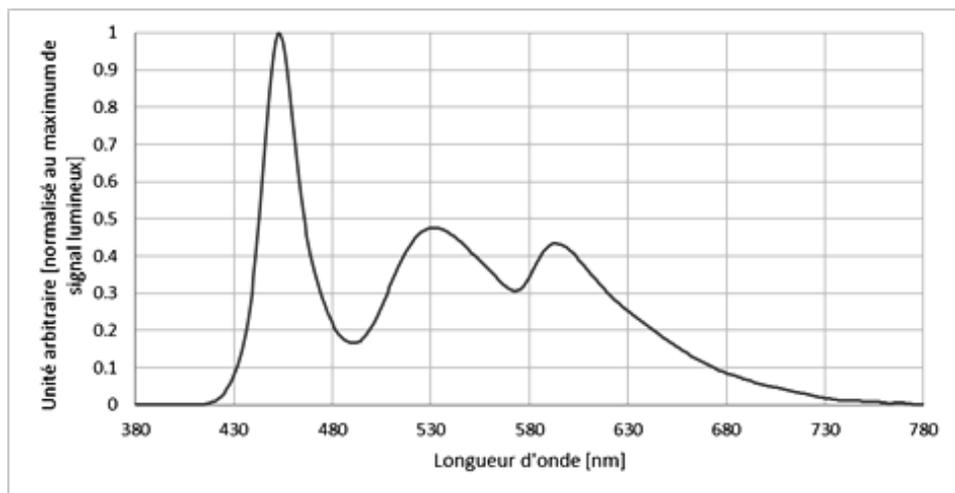
CIE S 026/E:2018 *CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light*. International Commission on Illumination (CIE).
<https://doi.org/10.25039/S026.2018>

Évaluation de l'effet d'une exposition de 2 h à une tablette le soir



Eclairement m-EDI	Eclairement dans le plan de l'œil	Luminance moyenne	Température de couleur mesurée dans le plan de l'œil
36.3 lux	41 lux	230 cd/m ²	6787 K

		Tablette iPad2
Eclairement m-EDI		36.3 lx
Impacts circadiens pour une exposition en soirée de 2 h	Suppression de la mélatonine	(50 ± 5) %
	Déphasage de l'horloge biologique	(50 ± 10) min



Doses de lumière favorables à la santé

Pendant la journée :
m-EDI \geq 250 lx



Pendant les 3h précédant l'heure
du coucher : m-EDI \leq 10 lx



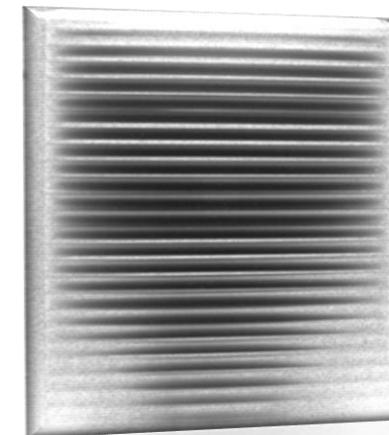
Pendant le sommeil :
m-EDI \leq 1 lx



Brown, T. M., et al (2022). Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. *PLoS Biology*, 20(3), e3001571.
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001571>.

Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) (2023). *Second International Workshop on Circadian and Neurophysiological Photoreception* (CIE TN 015:2023). Vienna, Austria: CIE.
<https://doi.org/10.25039/TN.015.2023>.

Lumière du jour → vitrage → protection solaire → occultation nocturne



Occultation favorable au sommeil
m-EDI < 1 lx

CIE S 026 E:2018 - CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-influenced Responses to light

Melanopic Daylight Equivalent Illuminance, *EDI*

Post Glazing

171

Rythmes circadiens perturbés : risque de cancer ?

- Une perturbation de la sécrétion de mélatonine a été associée à la croissance tumorale, et la suppression aiguë de la mélatonine par la lumière pendant la nuit est un facteur qui peut le faire
- Ceux qui travaillent de nuit pendant de nombreuses années sont connus pour avoir un risque de cancer plus élevé
- Pas seulement à cause de la dysrégulation circadienne
- Autres facteurs : mauvaise alimentation, manque de sommeil, manque d'exercice, autres risques professionnels
- Un contraste quotidien élevé entre la lumière et l'obscurité réduit le risque de cancer
- Aucun produit ou technologie d'éclairage spécifique n'est impliqué dans une association entre exposition lumineuse et cancer

En augmentation dans le monde (30% de la population, 50% estimé en 2050)

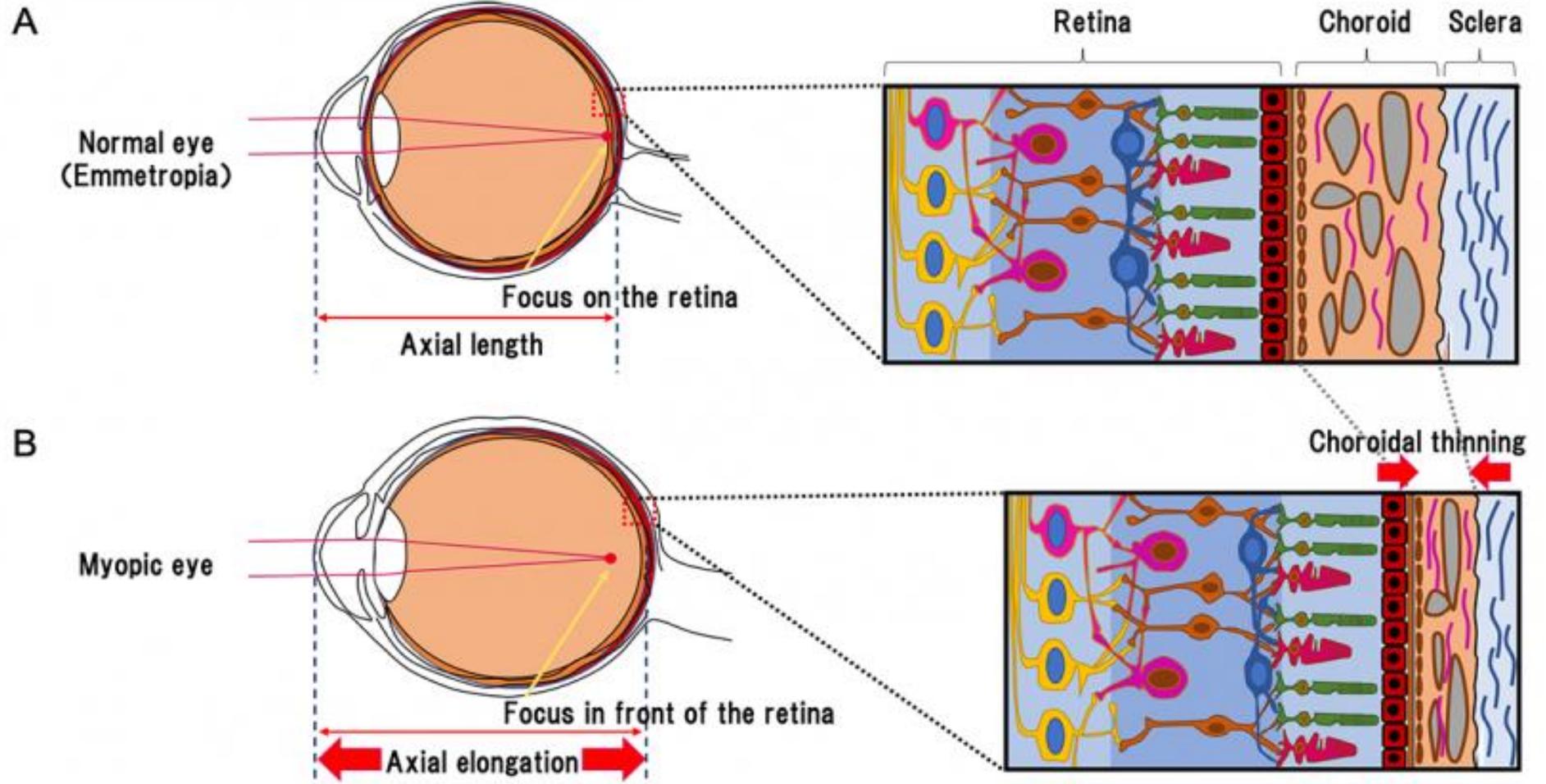
Augmentation de la prévalence chez les enfants

- 42.7% en France (10-19 ans)

Niveaux épidémiques en Asie :

- 73% en Corée du Sud (12-18 ans)
- 76% à 93% en Chine
- 95% au Japon (12 ans)

L'apparition précoce de la myopie augmente la probabilité de complications menaçant la vue telles que le décollement de la rétine, la rétinopathie myopique, le glaucome et la cataracte



Les facteurs environnementaux jouent un rôle majeur : **EXPOSITION A LA LUMIERE**

Autres facteurs:

ETHNICITE : Asiatiques : -0.87 D / an Caucasiens : -0.53 D / an

GENETIQUE : Seule une faible proportion de la variance dans la myopie peut être expliquée par les prédispositions génétiques (8% Verhoeven et al, IMC, 2017).

Risque x 6.4 si les 2 parents myopes (Mutti et al, 2002)

VISION DE PRES: distance, temps (Huang et al, 2015), écrans (Foreman et al, 2021) (McCran et al, 2021)

Le temps passé à l'extérieur est négativement associé au risque d'apparition (et de développement) de la myopie.

< 1 h / jour d'exposition à la lumière du jour semble prédisposer les enfants à un risque myopique accru

> 40-120 min / jour à la lumière du jour pourrait favorablement ralentir la croissance de l'œil chez l'enfant

« 1000 lux » est aujourd'hui établi comme une limite. L'unité doit être rediscutée !

(Xiong et al, 2017) (Ho et al, 2019) (Wu et al, 2018)

Effet de « plus de lumière naturelle » dans les écoles



Light intervention reduces myopia onset and shift

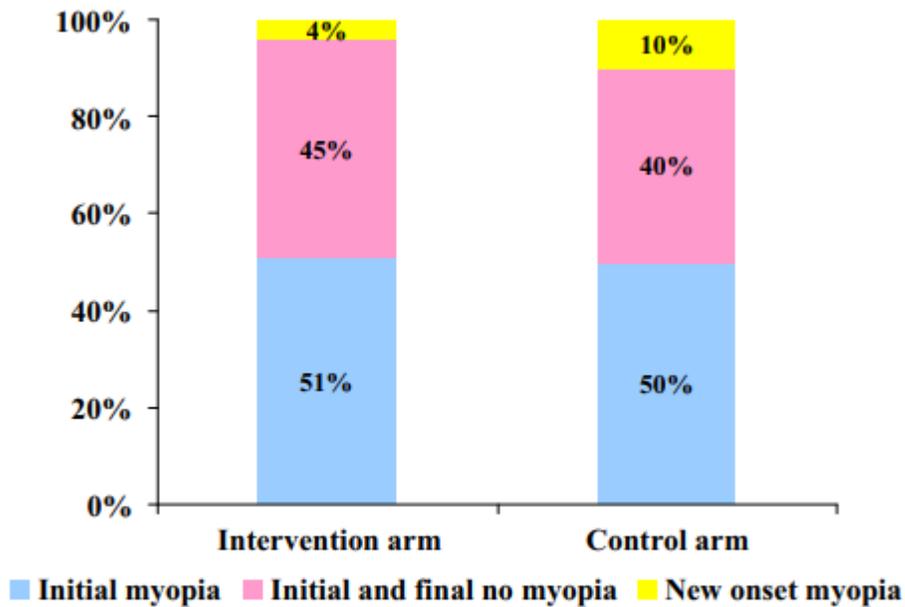


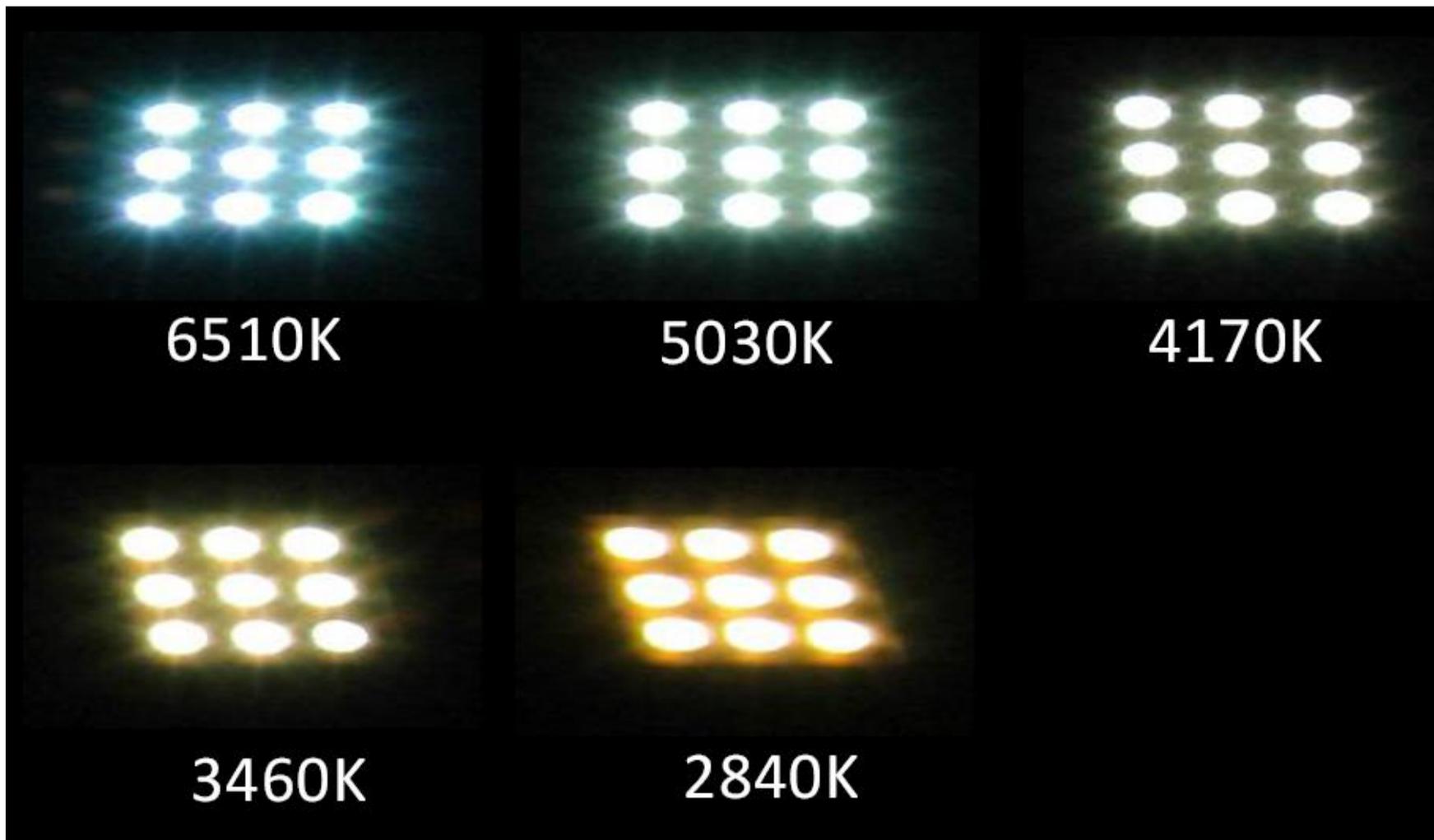
Figure 3. Bar graph showing the prevalence of new onset myopia of the two arms in the follow-up. The prevalence of new onset myopia was significantly lower in the intervention arm than in the control arm.

Hua, W., Jin, J., Wu, X., Yang, J., Jiang, X., Gao, G., & Tao, F. (2015). Elevated light levels in schools have a protective effect on myopia. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 35(3), 252–262. <https://doi.org/10.1111/opo.12207>

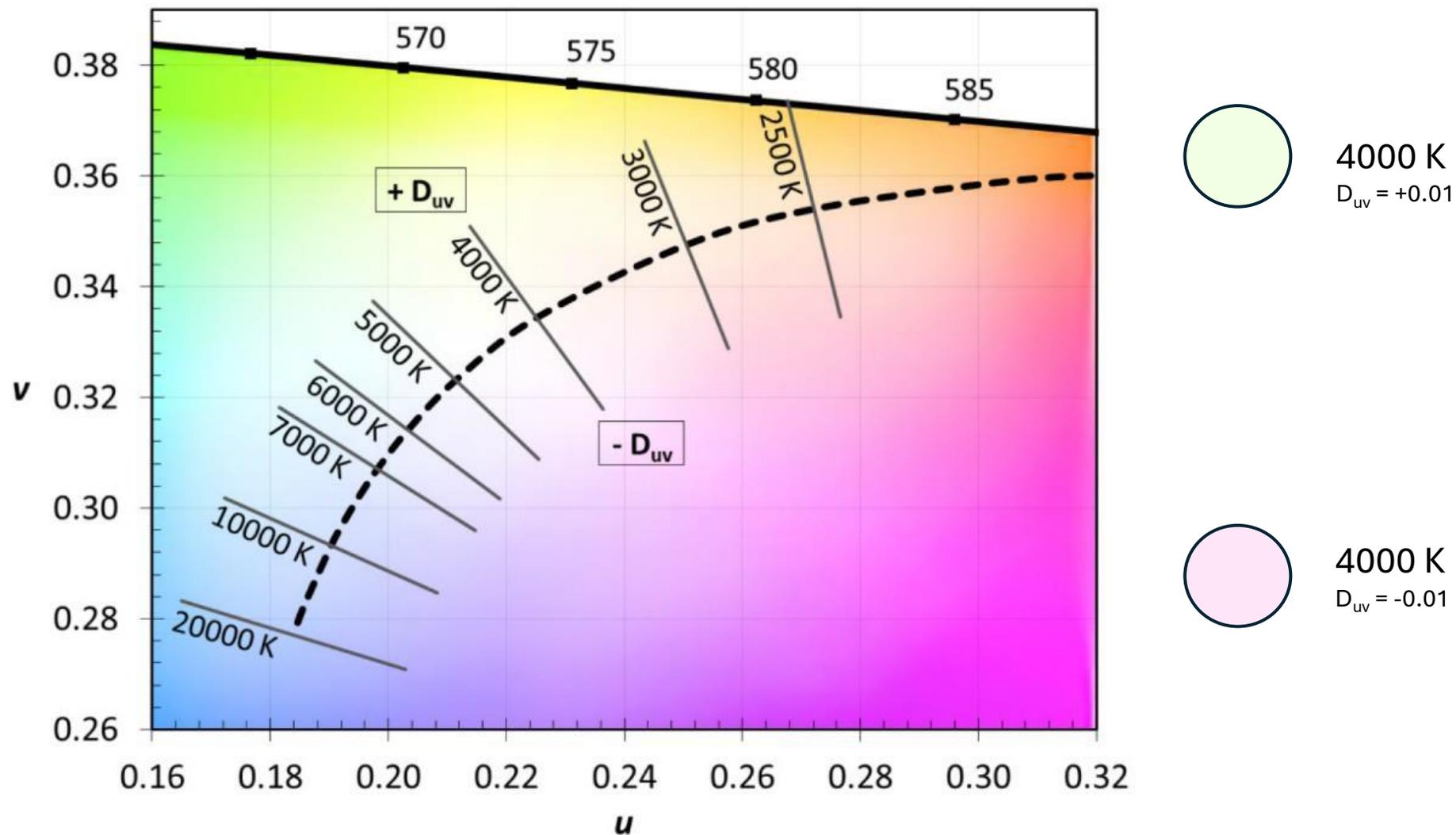
- Le temps passé à l'extérieur dans l'enfance est associé à une probabilité plus faible de myopie
- Les expositions à courte longueur d'onde (bleu et violet) peuvent être protectrices
- Mais il existe aussi des traitements utilisant des expositions à de grandes longueurs d'onde (lumière rouge)
- Aucune preuve d'un effet de la technologie d'éclairage sur la myopie



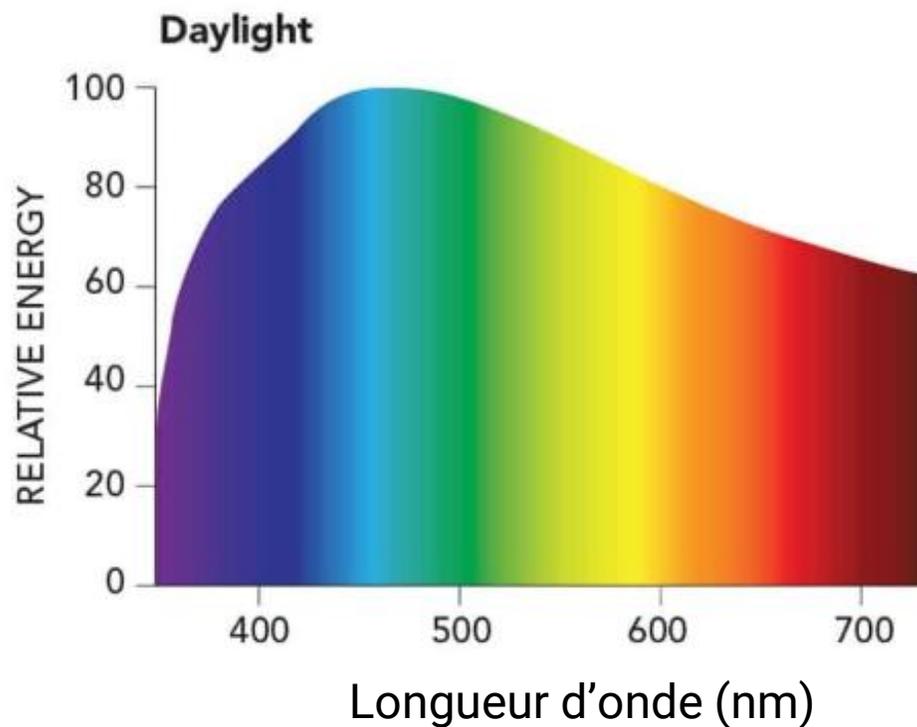




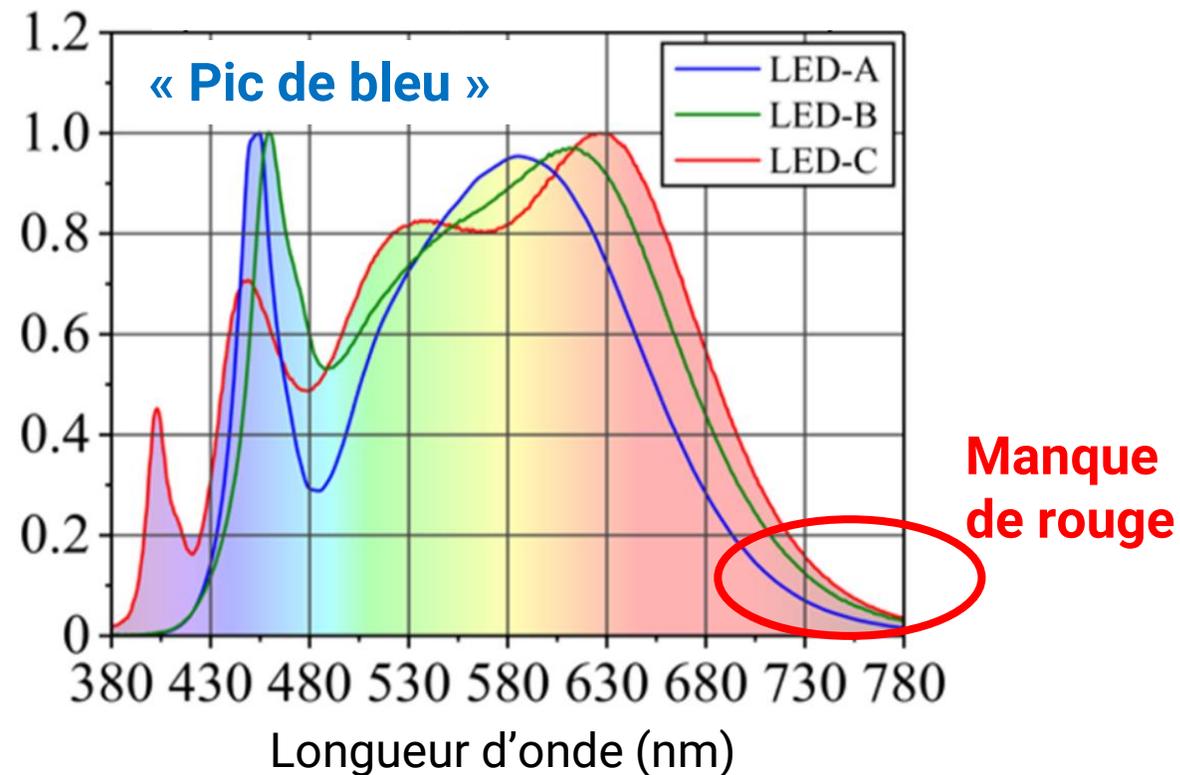
La température de couleur n'est pas tout...



Lumière du jour



Lumière des LED blanches



Lumière du jour



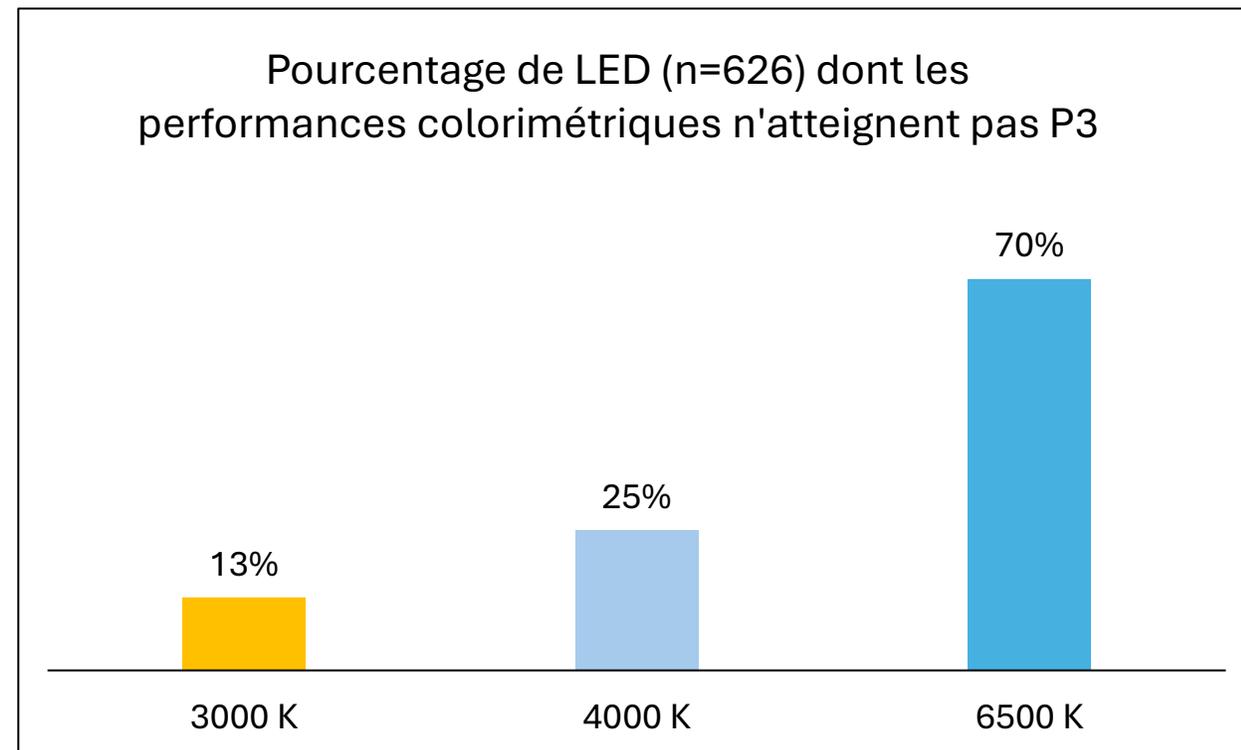
Lumière LED



Niveau minimal (P3) de la norme IES-TM-30

- $R_f \geq 70$
- $R_g \geq 89$
- $R_{cs,h1}$ entre -12% et 23%

Environnement agréable, dont les couleurs sont jugées naturelles



Fryc, I., Listowski, M., Supronowicz, R., & Martinsons, C. (2025). Selecting Energy-Efficient LED Retrofits with Optimal Color Qualities for New and Refurbished Buildings. *Energies*, 18(1) <https://doi.org/10.3390/en18010112>

EPREL (Registre européen de l'étiquetage énergétique des produits)

Accueil > Sources lumineuses > 2355653

Sources lumineuses

Règlement (UE)2019/2015 en ce qui concerne l'étiquetage énergétique des sources lumineuses

LEPRO/LE/LIGHTINGEVER
200085-WW-EU-2

Informations générales

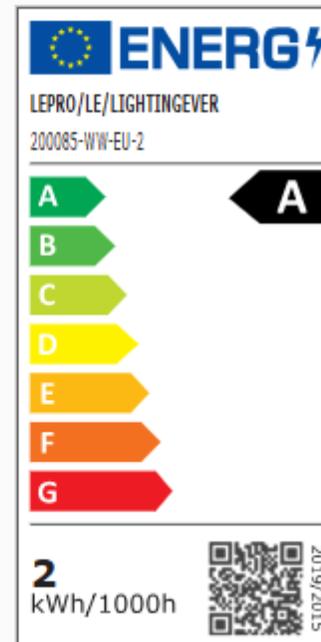


TYPE DE SOURCE LUMINEUSE

Technologie d'éclairage utilisée	LED
Non-dirigée ou dirigée	Dirigée

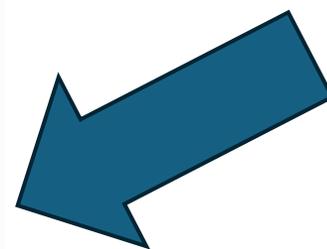
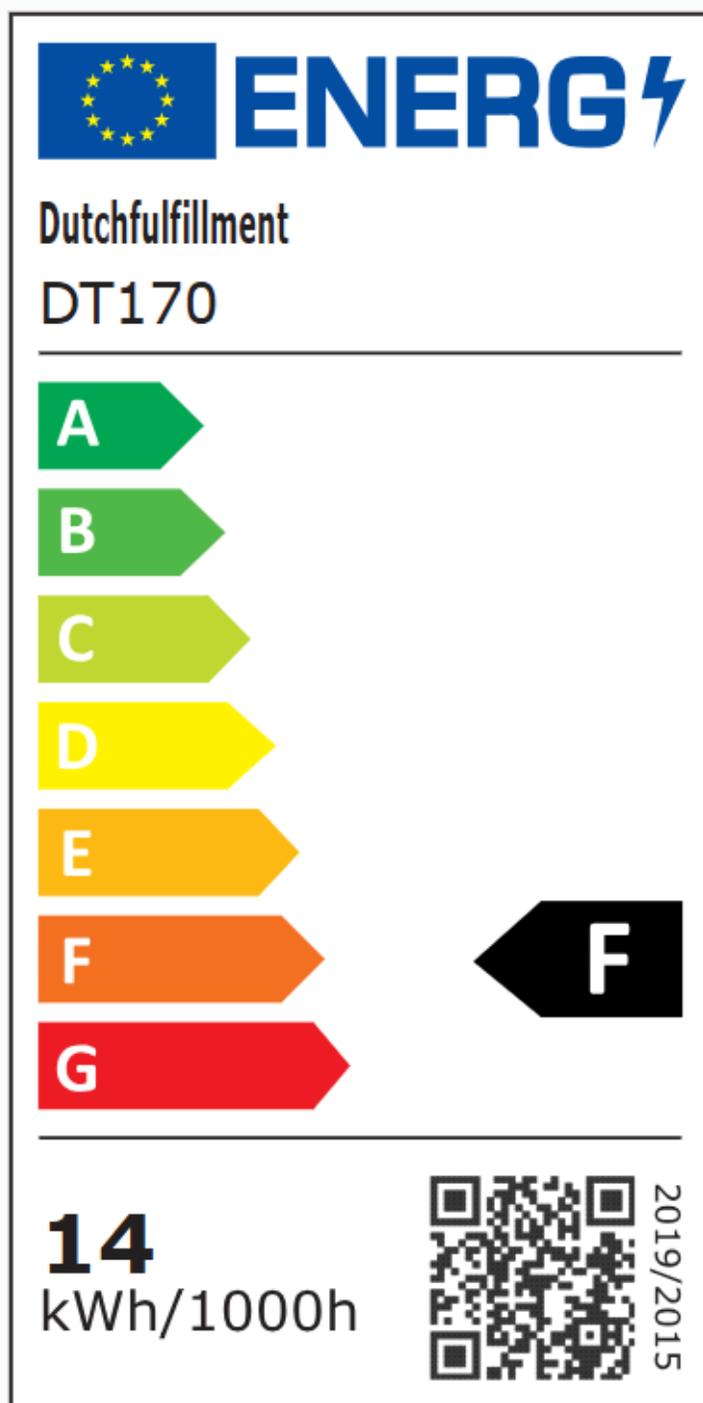
PARAMÈTRES GÉNÉRAUX DU PRODUIT

Consommation d'énergie en mode marche	2 kWh/1 000 h
Flux lumineux (utile)	360 lm
Correspondance pour l'angle de faisceau	Cône étroit (90°)
Température de couleur proximale	2 700 K
Consommation d'électricité en mode «marche»	2,00 W
Puissance en mode veille	0,00 W
Indice de rendu des couleurs	80
Indice de rendu des couleurs R9	6



Indice de rendu de couleur (IRC) : Ra bientôt obsolète...

Déclaration obligatoire de l'indice de rendu de la couleur rouge R9



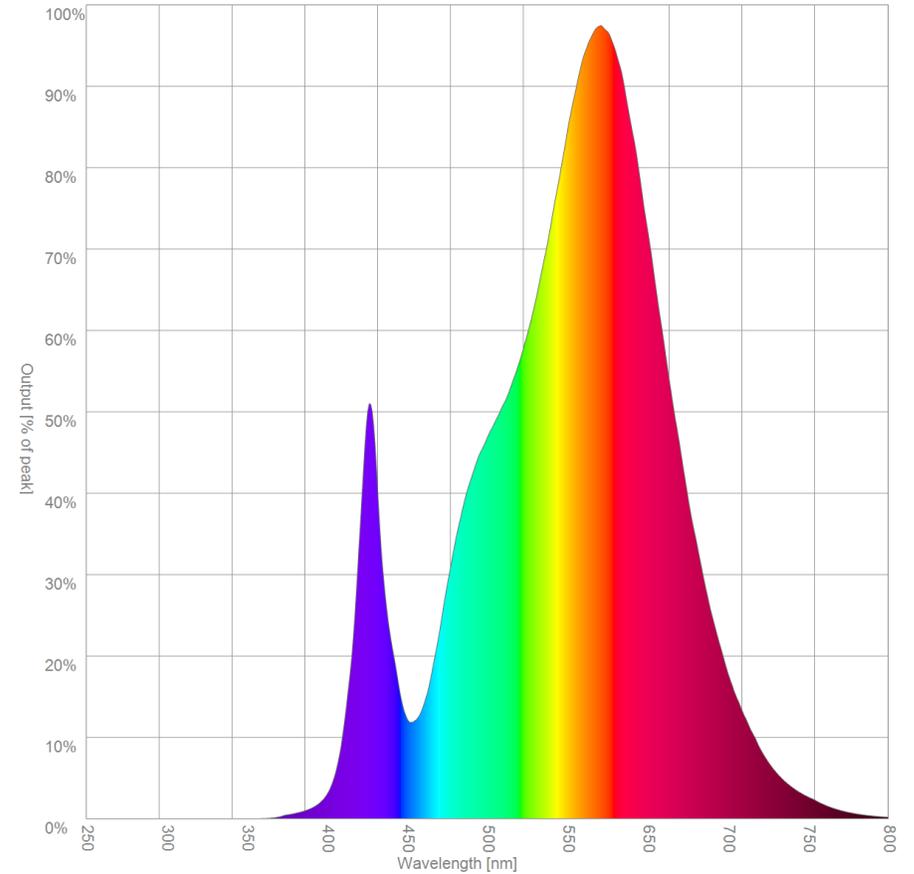
Flashez ce
QR code avec
votre
téléphone

A votre avis, le rendu des couleurs de cette lampe est

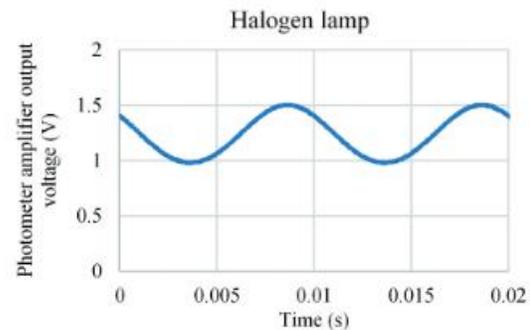
1. Excellent
2. Moyen
3. Médiocre

Réponse 3 : médiocre !

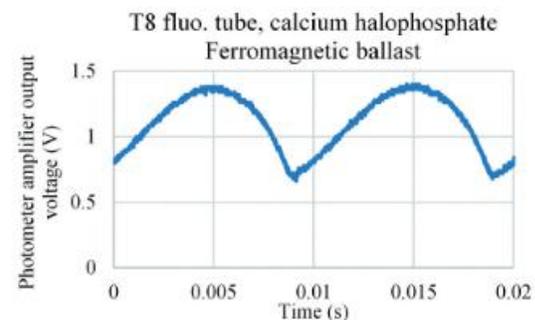
Consommation d'énergie en mode marche	14 kWh/1 000 h
Flux lumineux (utile)	1 273 lm
Correspondance pour l'angle de faisceau	Cône large (120°)
Température de couleur proximale	3 000 K
Consommation d'électricité en mode «marche»	14,16 W
Puissance en mode veille	0,00 W
Indice de rendu des couleurs	81
Dimensions extérieures	200(Hauteur) x 1(Largeur) x 55(Profondeur) mm
Déclaration de puissance équivalente	Non
Coordonnée chromatique	x: 0,437 y: 0,404
Distribution de la puissance spectrale dans la plage de 250 nm à 800 nm, à pleine charge	Image
PARAMÈTRES POUR LES SOURCES LUMINEUSES DIRIGÉES:	
Intensité lumineuse de crête	628 cd
Angle de faisceau	100 degrés
PARAMÈTRES POUR LES SOURCES LUMINEUSES LED ET OLED:	
Indice de rendu des couleurs R9	-1



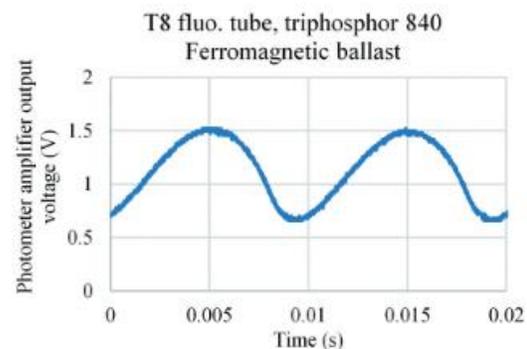




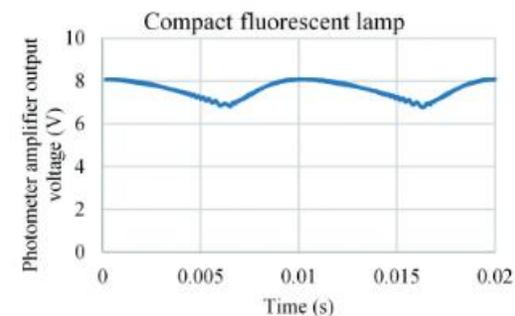
(a)



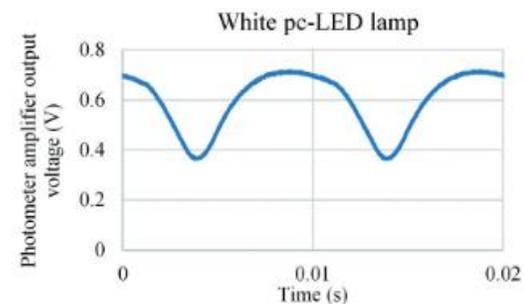
(b)



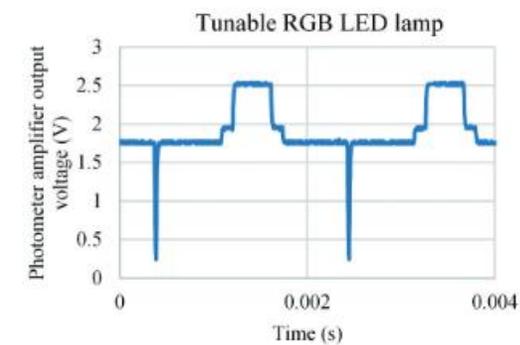
(c)



(d)



(e)



(f)



Martinsons, C., Picard, N., & Carré, S. (2023). Optical Lock-in Spectrometry Reveals Useful Spectral Features of Temporal Light Modulation in Several Light Source Technologies.

LEUKOS, 19(2), 146–164.

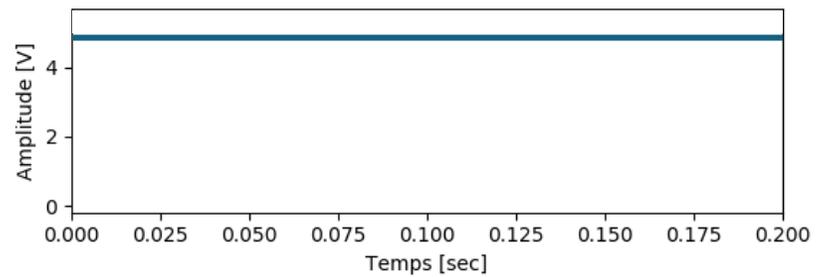
<https://doi.org/10.1080/15502724.2022.2077754>

Fig. 5. (a) to (f) : Temporal light modulation waveforms of the tested lamps

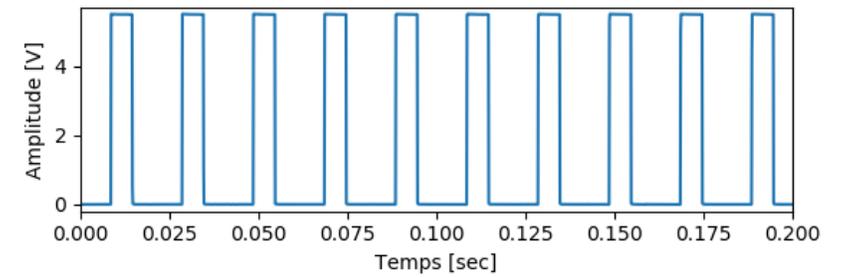
Eclairages LED avec gradateur



Intensité 100 %



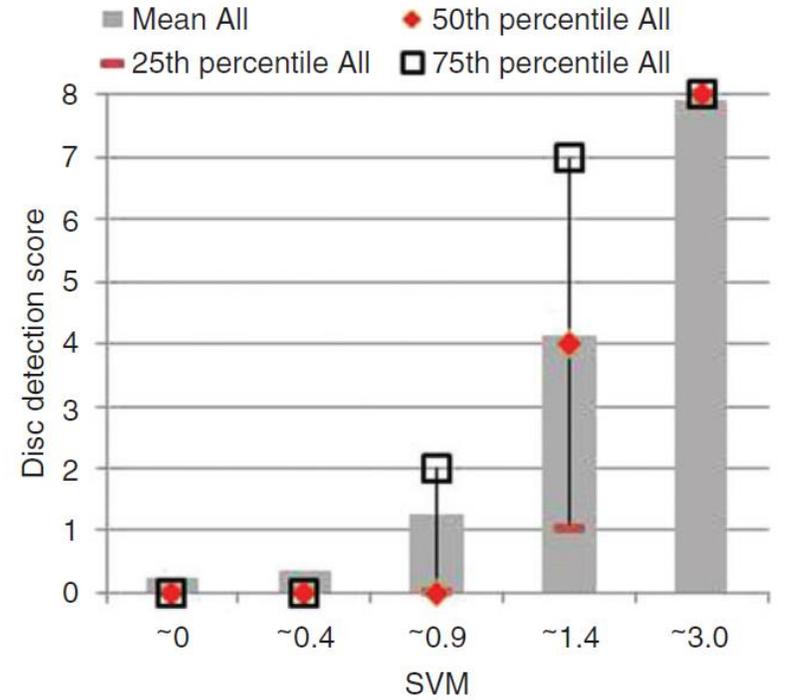
Intensité 30%





National Research
Council Canada

85 participants



J. Veitch and C. Martinsons. "Detection of the Stroboscopic Effect by Young Adults Varying in Sensitivity." *Lighting Research & Technology*, 2020
<https://doi.org/10.1177/1477153519898718>

Règlement européen d'éco-conception des lampes et produits d'éclairage

PstLM ≤ 1 à pleine charge

SVM $\leq 0,4$ à pleine charge

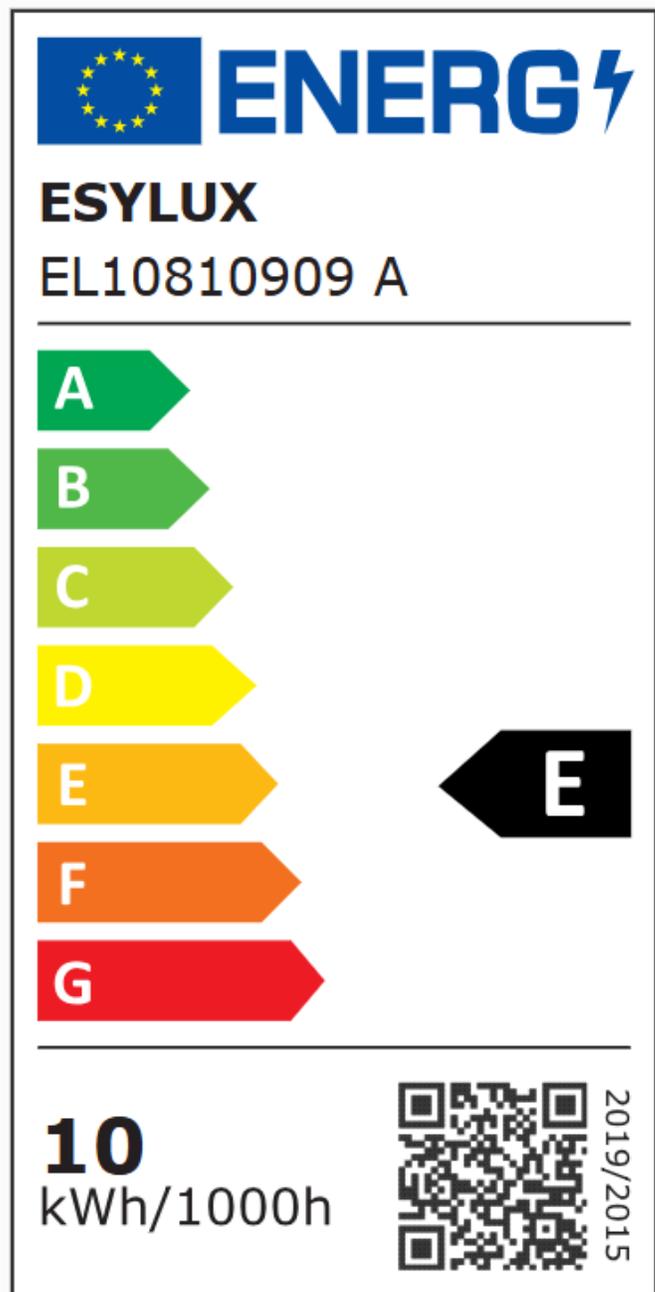


EPREL (Registre européen de l'étiquetage énergétique des produits)

[Accueil](#) > [Sources lumineuses](#) > 2355720

Sources lumineuses

Règlement (UE)2019/2015 en ce qui concerne l'étiquetage énergétique des sources lumineuses



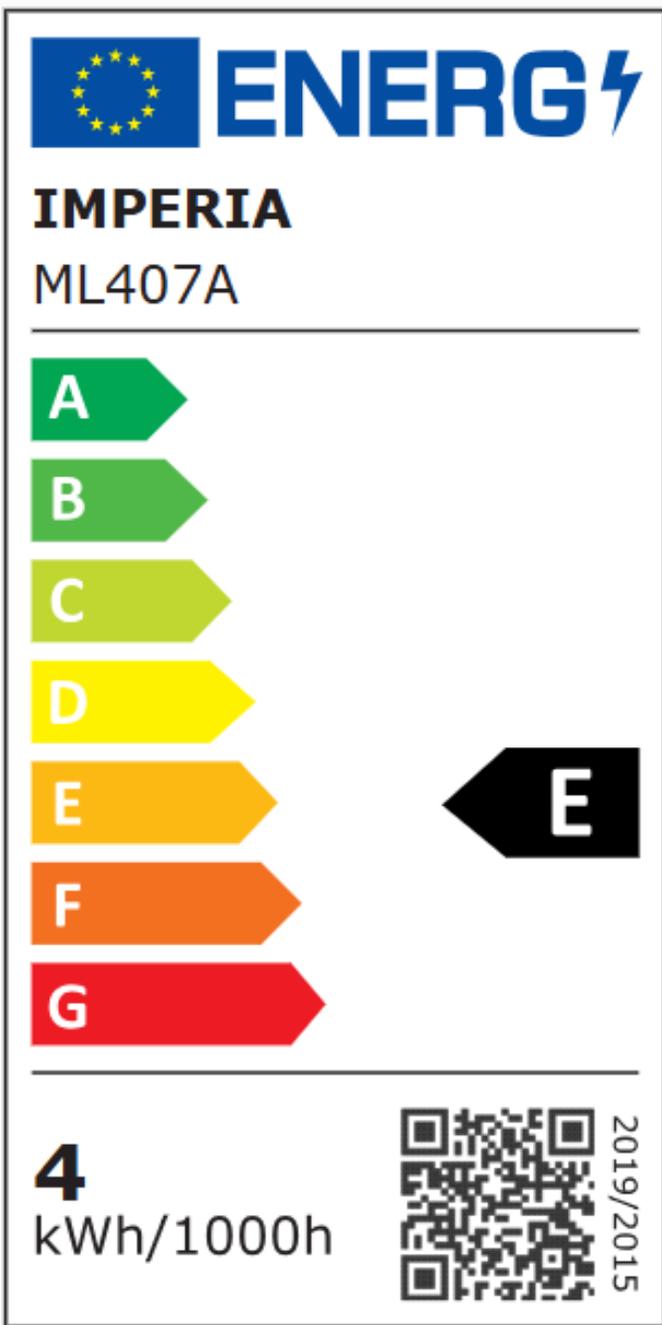
PARAMÈTRES POUR LES SOURCES LUMINEUSES LED ET OLED:

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 à la réglementation



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	0,54
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	1,0
Mesure de l'effet stroboscopique	0,4

Ces valeurs sont exactement les limites réglementaires
Elles ne proviennent pas de mesure.
On ne sait pas si le produit est conforme ou non.

Règlement européen d'éco-conception des lampes et produits d'éclairage



$P_{stLM} \leq 1$ à pleine charge

$SVM \leq 0,4$ à pleine charge

EPREL (Registre européen de l'étiquetage énergétique des produits)

[Accueil](#) > [Sources lumineuses](#) > 2355720

Sources lumineuses

Règlement (UE)2019/2015 en ce qui concerne l'étiquetage énergétique des sources lumineuses

De nombreuses déclarations sont suspectieuses :
4 exemples typiques

Mesure du papillotement	1,0
Mesure de l'effet stroboscopique	0,4

Mesure du papillotement	0,2
Mesure de l'effet stroboscopique	0,2

Mesure du papillotement	0,9
Mesure de l'effet stroboscopique	0,9

Mesure du papillotement	0,0
Mesure de l'effet stroboscopique	0,0

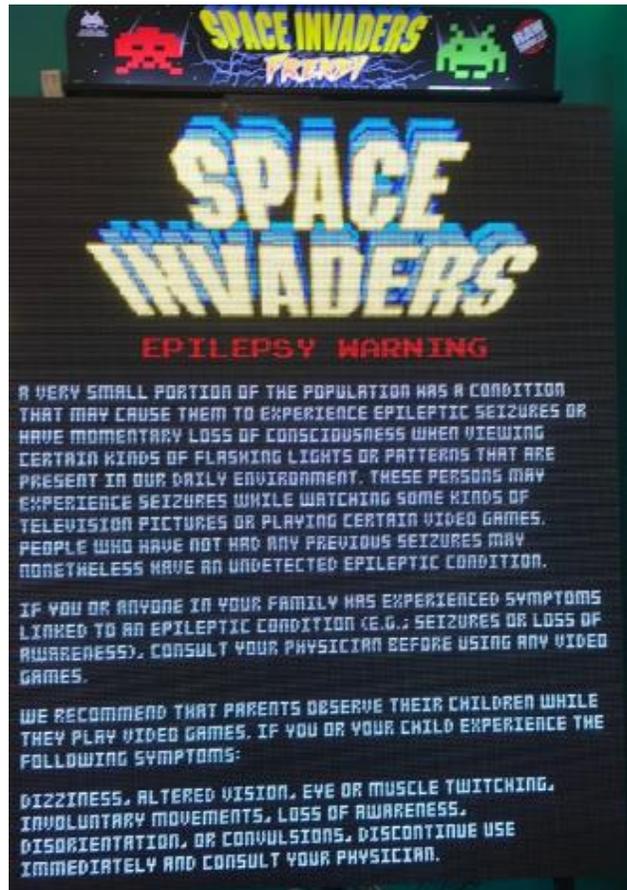
EPREL database, June 2nd, 2025

Total number of declarations : 523 181

including 258 419 LED products

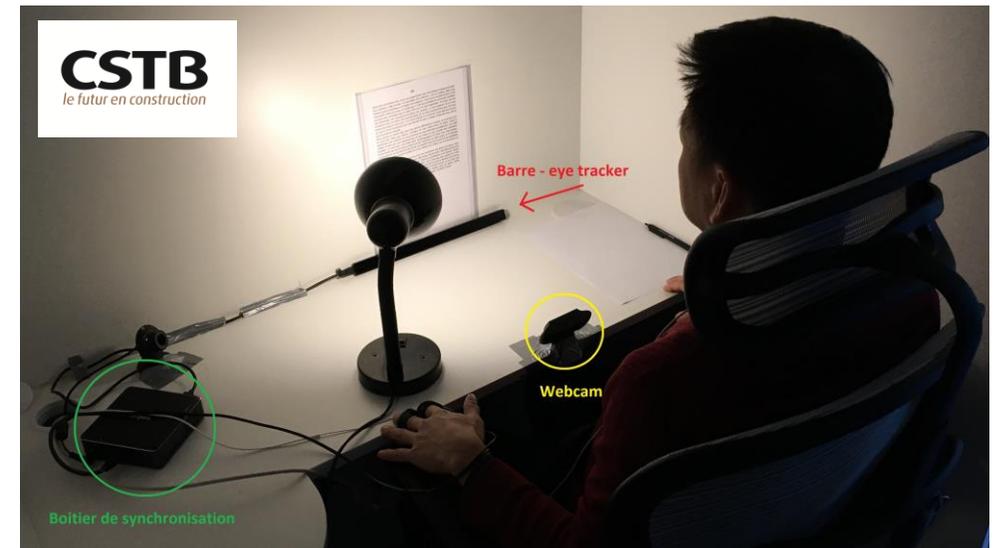
with PstLM = 1 and SVM = 0.4 :	76 333	(30% de déclarations exactement à la limite autorisée...)
with PstLM=0 and SVM = 0 :	36 849	(14% de déclarations avec valeurs nulles : impossible...)
with PstLM = SVM	86 866	(34% de déclarations improbables)
with PstLM > 1 or SVM > 0.4	909	(0.4% de déclarations non conformes au règlement européen)

La modulation temporelle de la lumière affecte l'activité cérébrale



- Déclenchement de crises d'épilepsie
- Perturbation des tâches de lecture
- Fatigue visuelle
- Maux de tête, migraines

Populations sensibles
Activités sensibles



Martinsons, C., Gaines, J., Vollers, J., Nachtrieb, R., Wolfman, H., & Zissis, G. (2024). A Review of Contemporary Issues with Temporal Light Modulation of Lighting Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 60(5), 1–7. IEEE Transactions on Industry Applications. <https://doi.org/10.1109/TIA.2024.3425821>

Gwenaëlle Haese, Samuel Carré, Christophe Martinsons, Antoine Luu, Anthony Couzinet. Using sensory and physiological approaches to assess the effects of temporal light modulation on reading tasks under LED lamps. EUROSENSE 2020, Dec 2020, Rotterdam (NL)

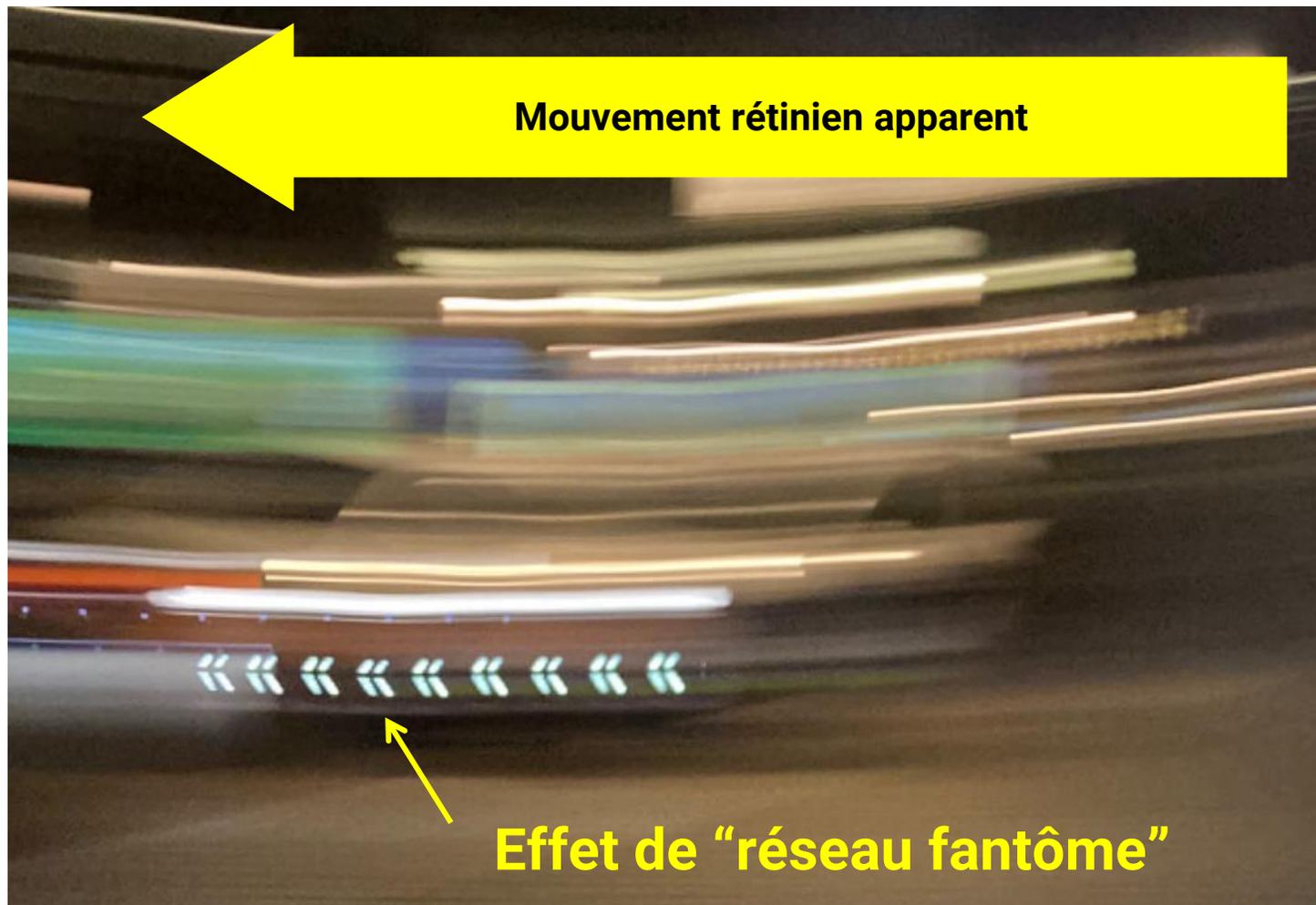
Étude pour le Futuroscope (2022) « Chasseurs de Tornades »



la modulation temporelle de la lumière et les cadences stroboscopiques.

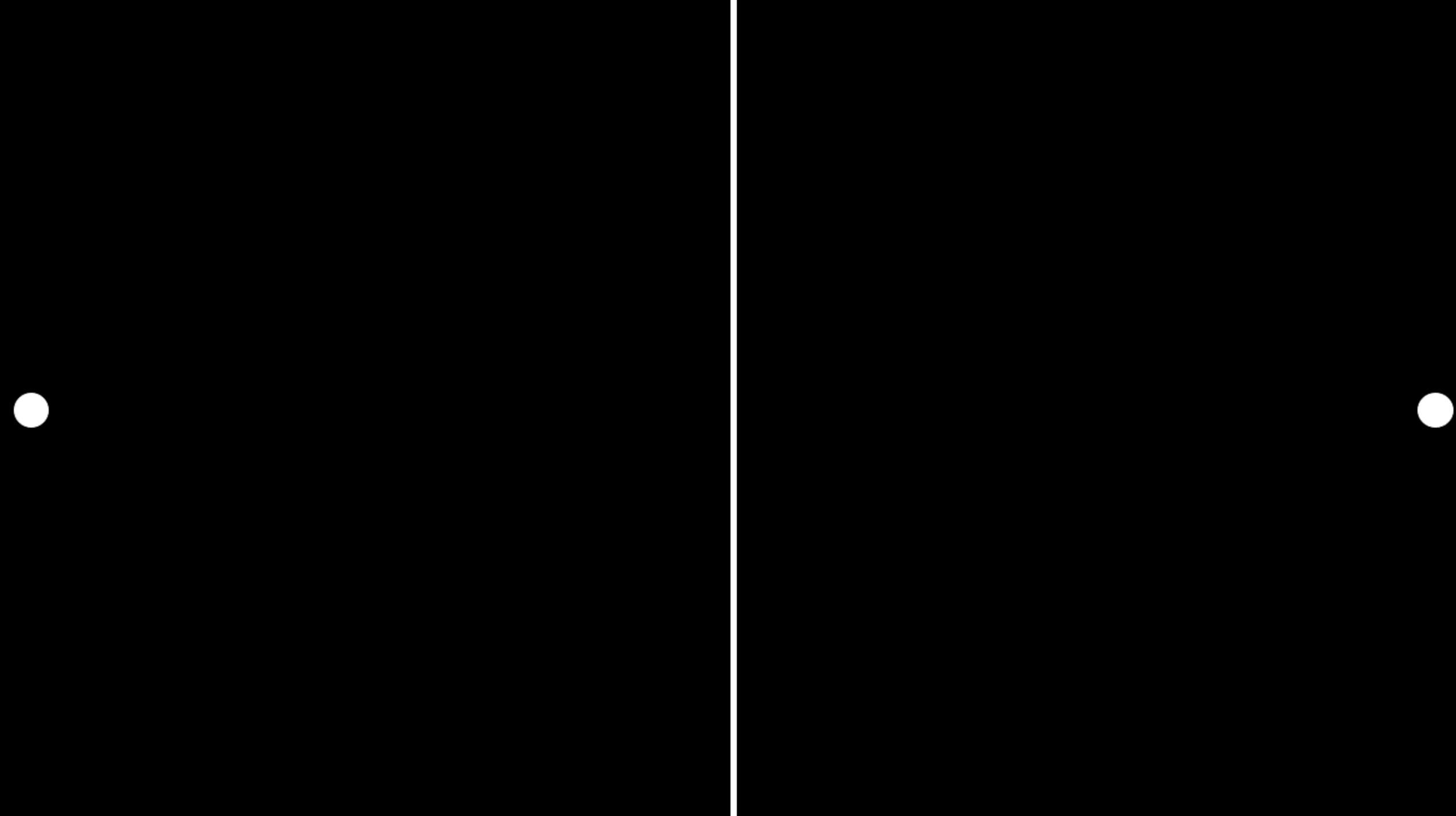






Test Visuel :

Détection de l'effet de
réseau fantôme

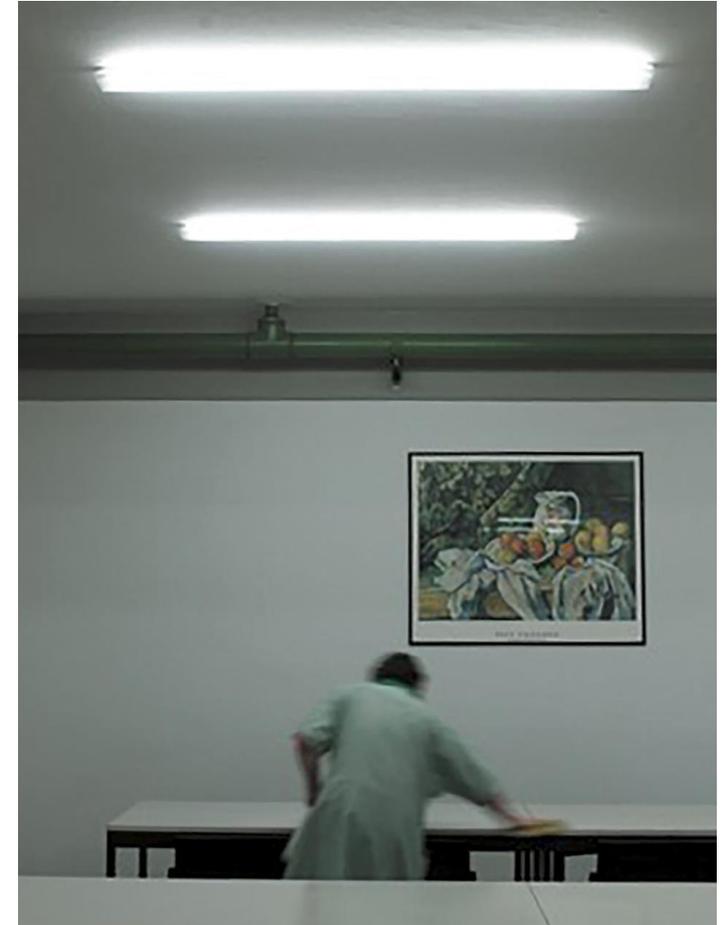


Avez-vous vu l'effet de réseau fantôme ?

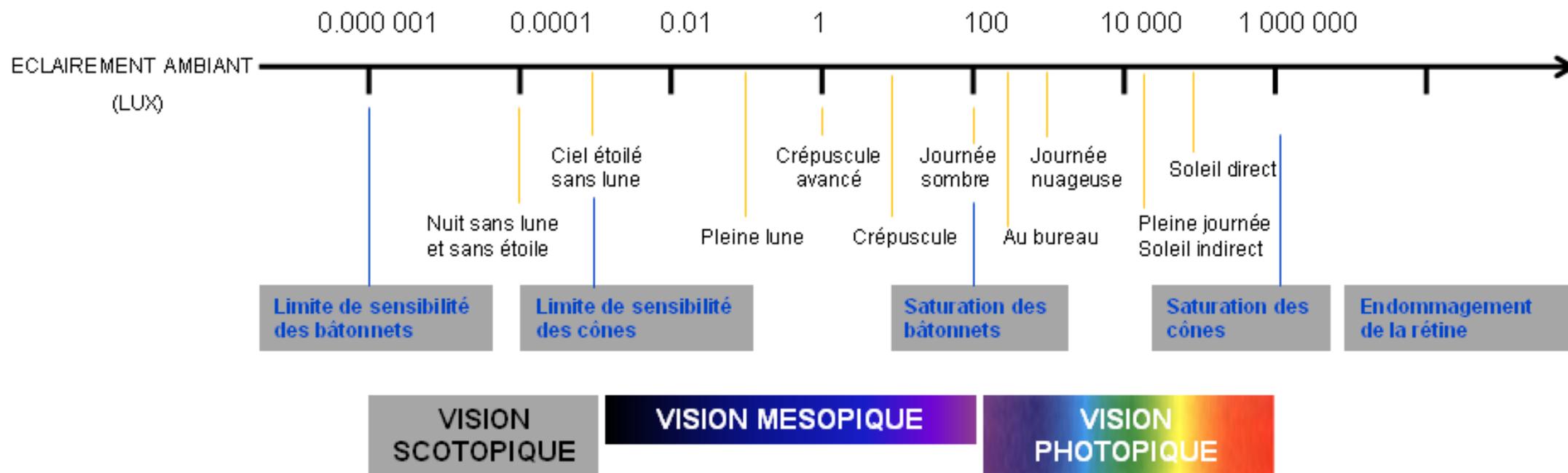
1. OUI
2. NON

Éblouissement d'inconfort

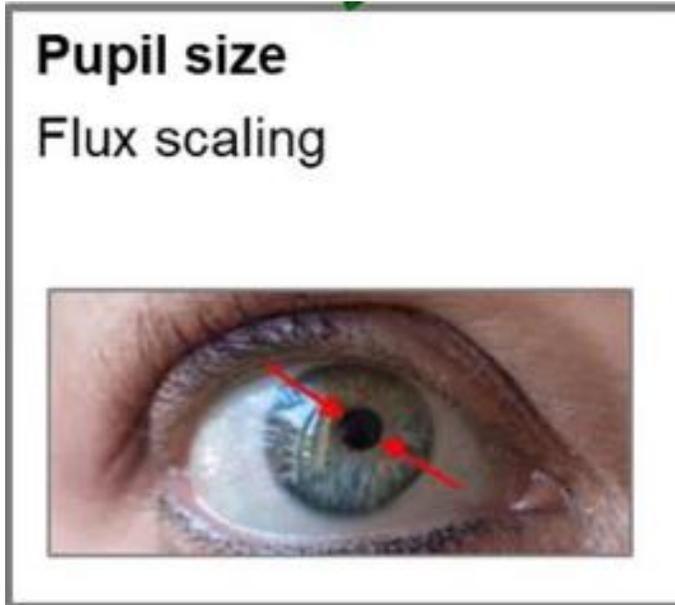
- L'un des facteurs les plus impactant pour la qualité de l'environnement intérieur (QEI)
- Préoccupation majeure concernant les LED



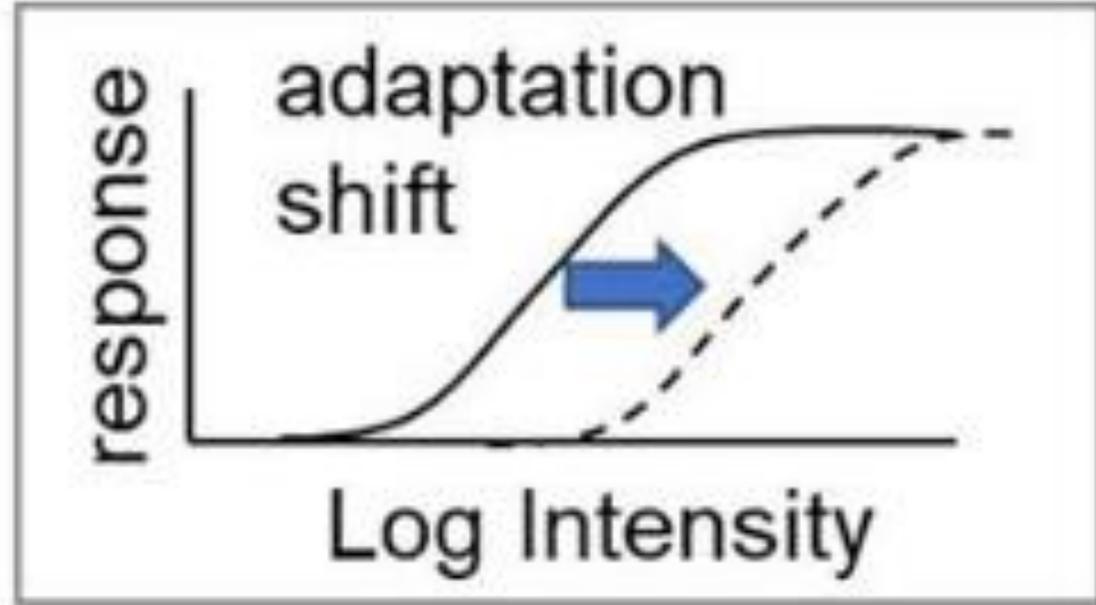
L'énorme étendue de la vision humaine



Pupille

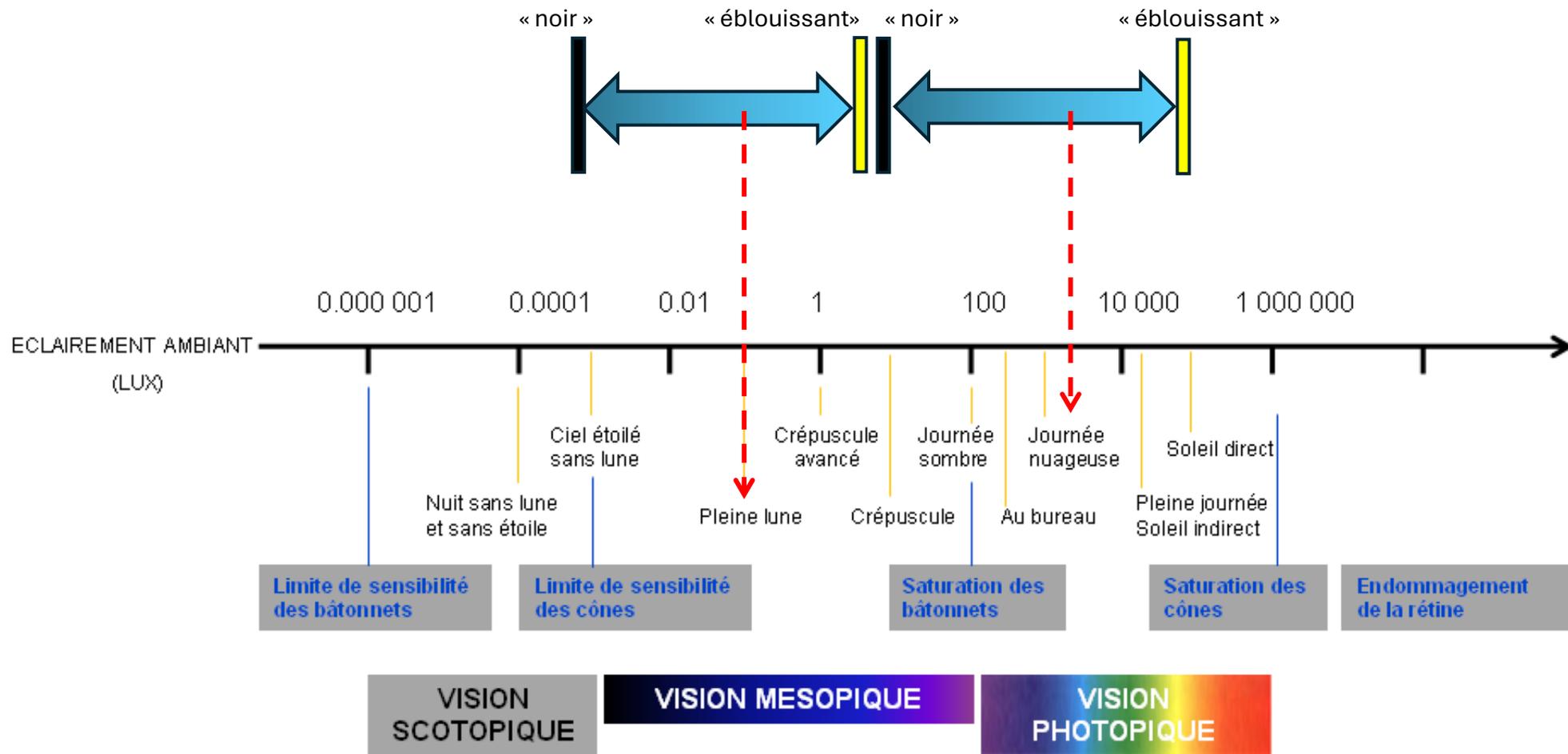


Réponse logarithmique des cônes et des bâtonnets



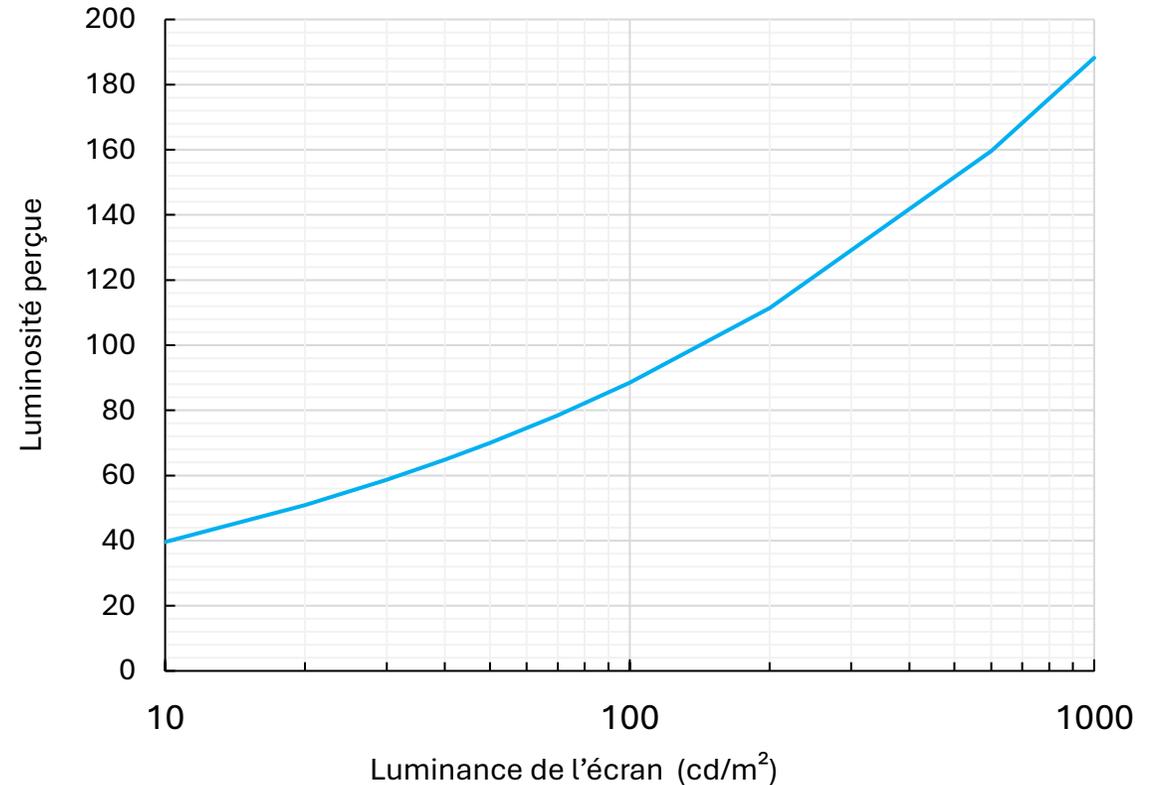
Vissenberg, M., Perz, M., & Sekulovski, D. (2022). A generic, visual system-based model for discomfort from glare: *Lighting Research & Technology*. <https://doi.org/10.1177/14771535221112675>

Adaptation et plages dynamiques de vision



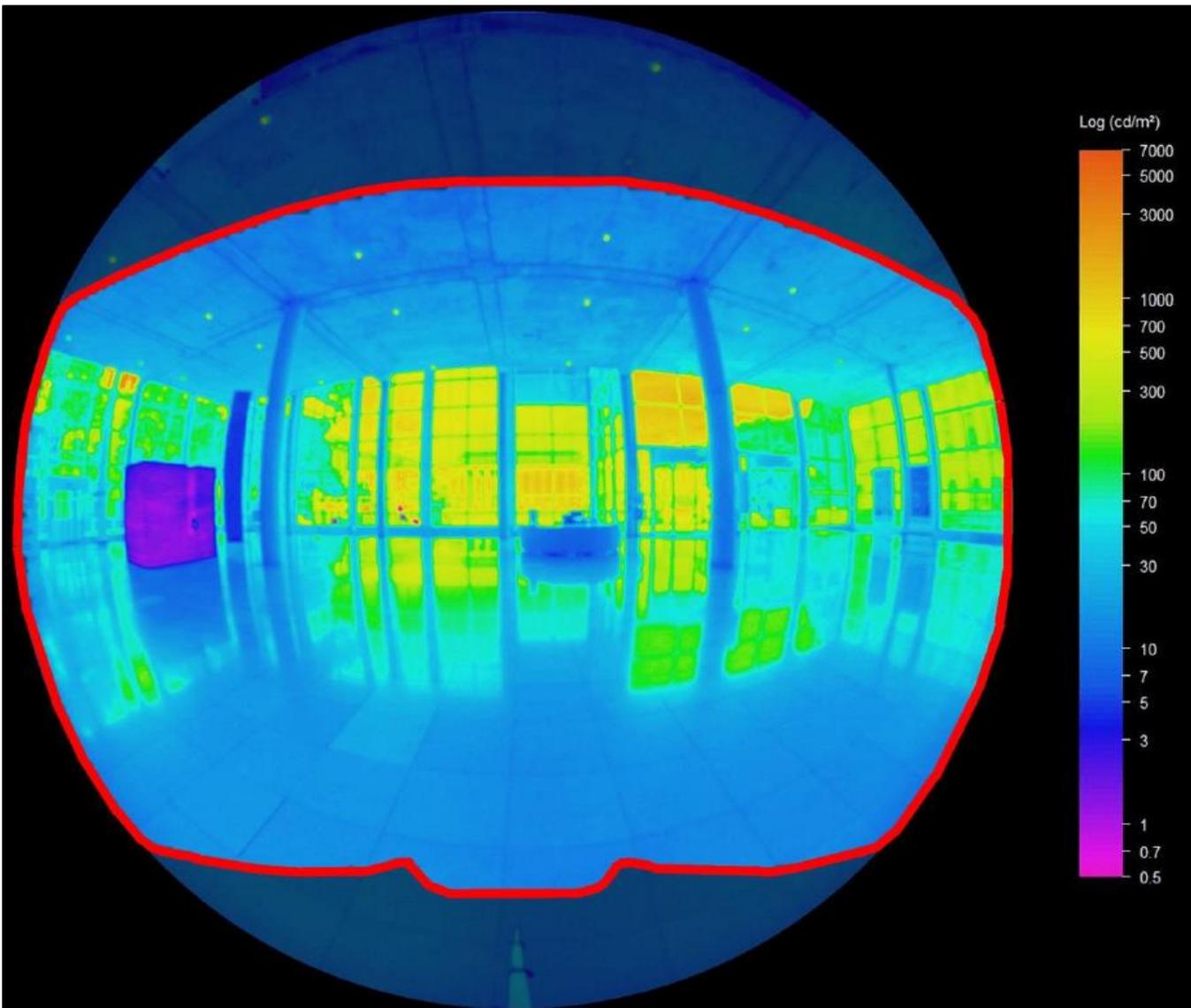
- *La luminosité perçue est proportionnelle à la luminance à la puissance 1/3*
- Pour doubler la luminosité perçue, il faut multiplier la luminance par 8

Luminosité perçue d'un écran en fonction de sa luminance



Plages de confort visuel

		Luminance moyenne d'adaptation (cd/m ²)	Limite basse « noir » (cd/m ²)	Limite haute « éblouissement d'inconfort » (cd/m ²)
Environnement intérieur bien éclairé	La nuit, chaussée bien éclairée et éclairage public	10	0.2	762
	Extérieur jour faible luminosité	1 000	12	10 514
	Extérieur jour luminosité moyenne	5 000	57	26 313
	Extérieur jour luminosité élevée	10 000	113	39 062



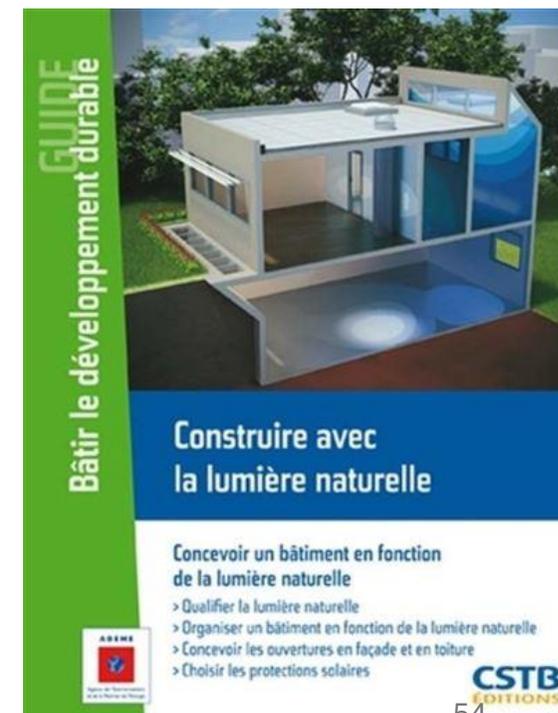
POINT DE VUE 12

Luminance moyenne (cd/m ²)	Limite basse « noir » (cd/m ²)	Limite haute « éblouissement d'inconfort » (cd/m ²)
78	1.1	2 456



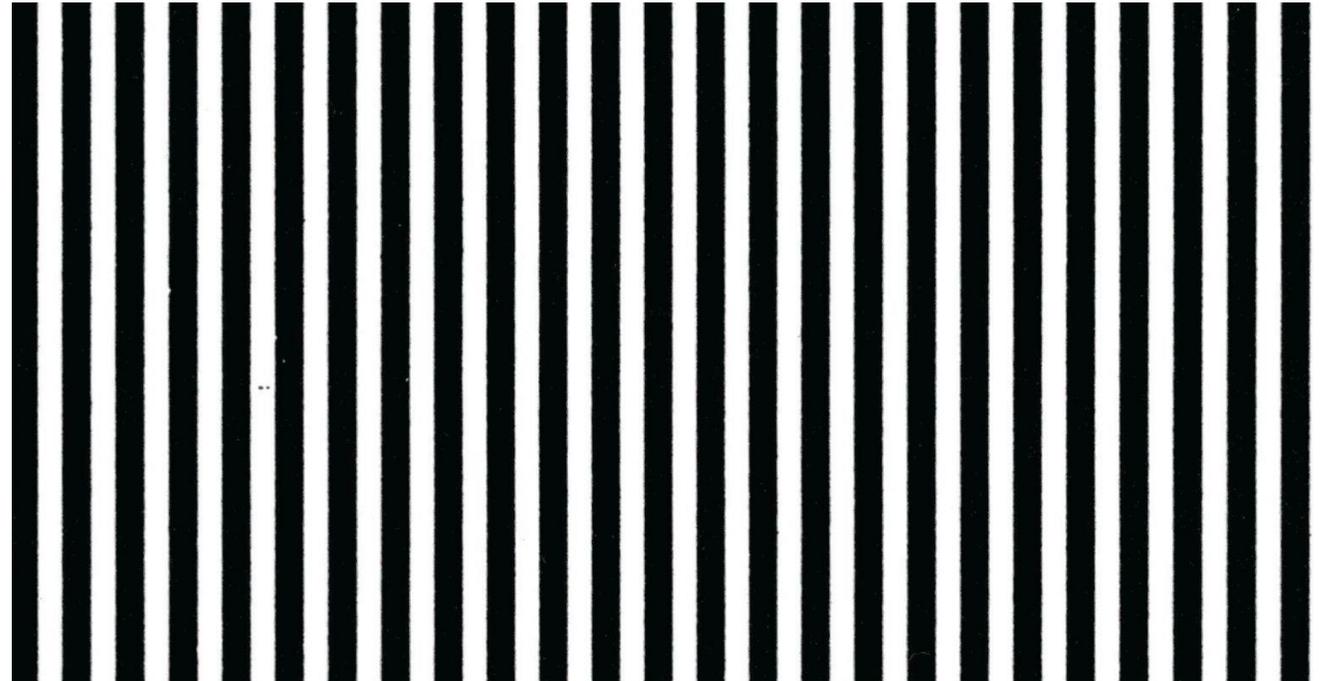


Réduction de l'éblouissement d'une fenêtre associé à l'usage d'un store (store vénitien ou store screen, valeurs de luminance en cd/m^2)



Inconfort visuel liés aux contrastes périodiques

Des motifs périodiques dans le champ de vision (fréquences spatiales critiques) créent une gêne visuelle (liée à l'effet de non-uniformité)



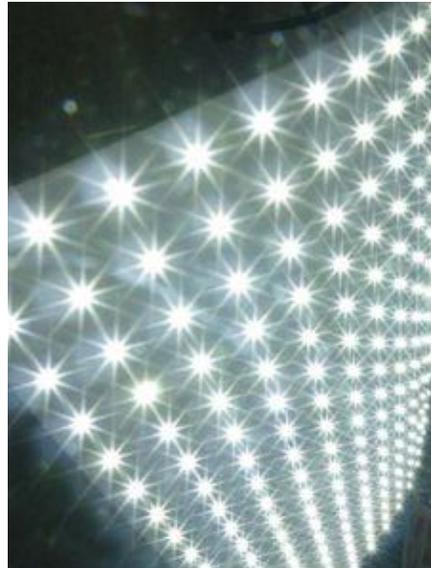




Non-uniformité des luminaires

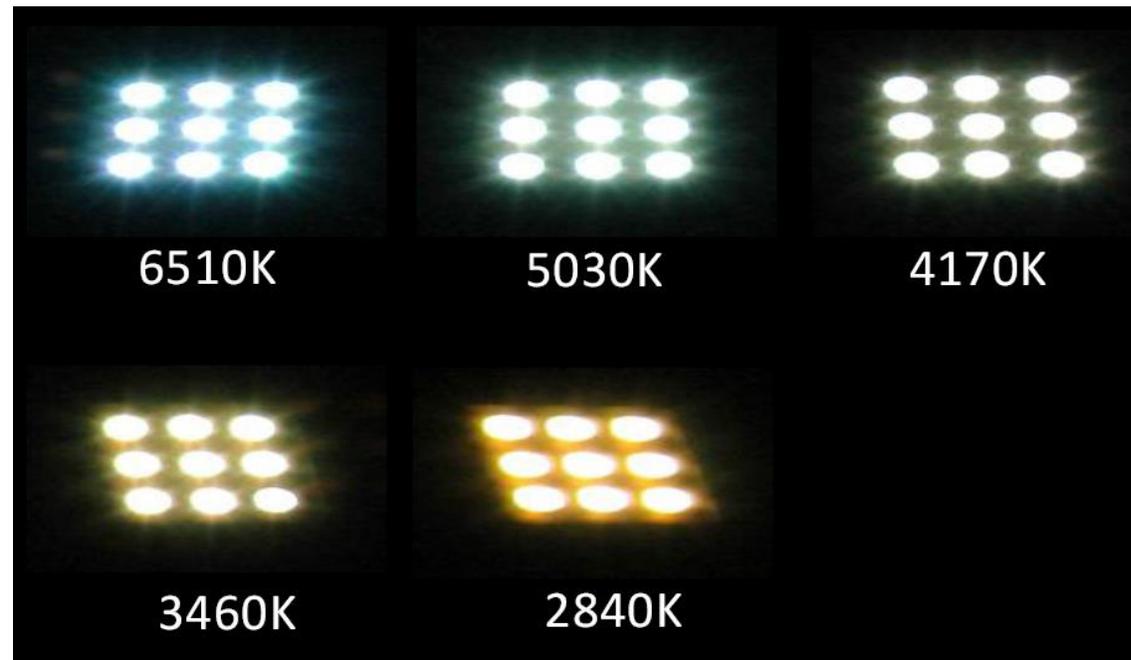
La non-uniformité des luminaires augmente l'inconfort :

- Phénomène bien compris dans l'éclairage intérieur (nouvel indice UGR corrigé)
- De nombreux luminaires LED ne sont pas uniformes, mais aucune étude n'a examiné les luminaires extérieurs vus de près (en éclairage public).



Influence du spectre / de la couleur sur l'éblouissement

- Les LED blanc froid sont plus éblouissantes que les LED blanc chaud
- Plusieurs modèles de sensibilité spectrale à l'éblouissement inconfortable ont été publiés
- La sensation varie entre la vision périphérique et la vision centrale
- Pas (encore) d'accord sur la courbe de sensibilité spectrale



Yang, Y, Ronnier M Luo, and WJ Huang. "Assessing Glare, Part 3: Glare Sources Having Different Colours." *Lighting Research & Technology* 50, no. 4 (2018)

Bullough, J.D. « Spectral Sensitivity for Extrafoveal Discomfort Glare ». *Journal of Modern Optics* 56, n° 13 (2009)

Éblouissement d'inconfort

Difficulté pour le système visuel de maintenir une « dynamique » élevée dans le champ de vision pendant une longue durée

Conséquences :

- Inconfort visuel
- Déclenchement et aggravation des maux de tête chez les personnes souffrant de migraines
- L'exposition prolongée à l'éblouissement contribue à la fatigue oculaire et aux douleurs musculaires
- Aversion à la lumière : la photophobie (peur de la lumière) est une forme extrême d'inconfort dû à l'éblouissement ressenti par les personnes les plus sensibles
- Sécurité des personnes : accidents, chutes, risques professionnels

L'œil ne sert pas qu'à voir

Les effets chronobiologiques de l'éclairage sont à prendre en compte pour améliorer la Qualité des Environnements Intérieurs (QEI)

De nouveaux indicateurs à utiliser pour :

- Dimensionnement des baies
- Choix des vitrages
- Protections solaires
- Performances d'occultation nocturne
- Dimensionnement de l'éclairage artificiel

Les éclairages LED restent encore « imprévisibles »

Ils doivent être choisis avec attention pour s'adapter aux personnes et à leurs usages

Quelques points critiques pour la QEI :

- Le rendu des couleurs
- L'éblouissement
- Nouveaux indicateurs ($R9$, R_f , R_g , $R_{cs,h1}$)
- La modulation temporelle
- Nouveaux indicateurs (SVM)
- Valeurs (auto)déclarées parfois fausses

Avez-vous appris de nouvelles choses sur le lien entre l'éclairage et la santé ?

1. OUI
2. NON

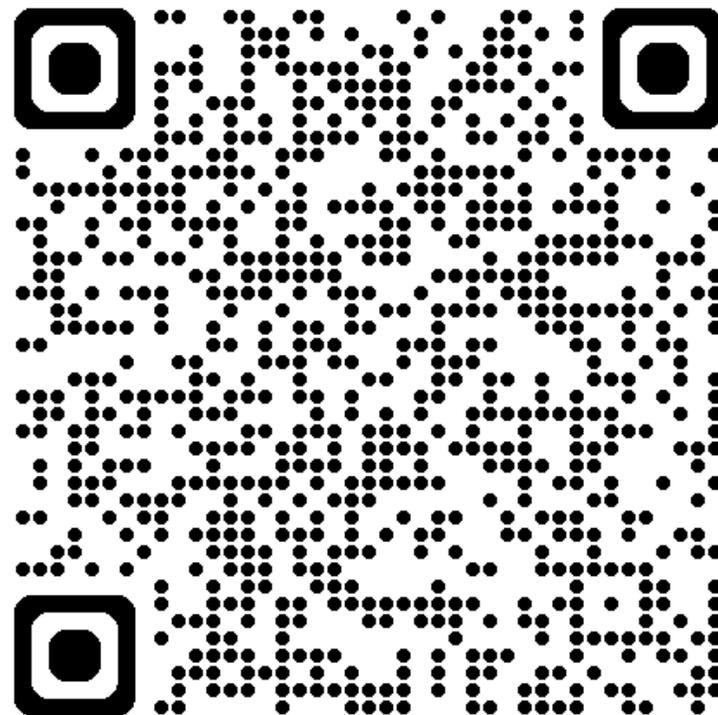
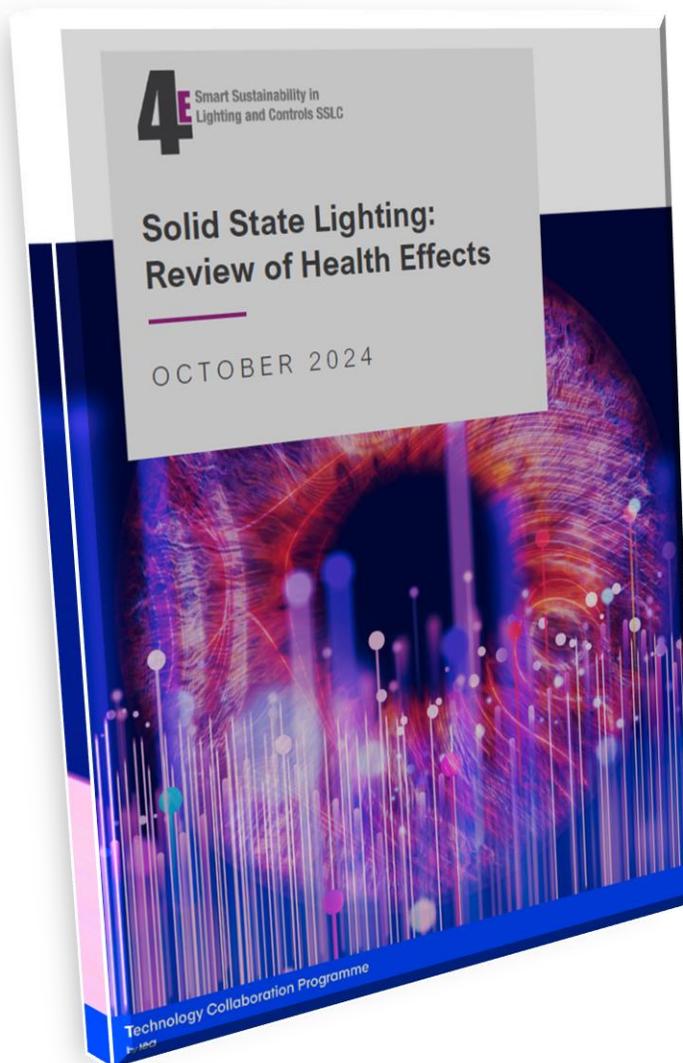
Pensez-vous qu'il est important de prendre en compte ces éléments pour concevoir ou rénover un éclairage ?

1. OUI
2. NON

Avez-vous déjà ressenti de l'inconfort en raison d'un mauvais éclairage (naturel ou artificiel) ?

1. OUI
2. NON

- Work initiated by the International Energy Agency
- Technology Collaboration Program 4E (energy-efficient end-use equipment), Solid-State Lighting Platform
- Collaboration between three research teams from public institutes in Australia (ARPANSA), Canada (NRC Canada) and France (CSTB) between 2019 and 2024.
- Coordination: CSTB



Pour télécharger librement ce rapport

Martinsons, C., Veitch, Jennifer, Loughran, S., Nixon, A., Mate, R., Harris, R., & Shen, L. (2024). *Solid-State Lighting: Review of Health Effects*.

International Energy Agency, Energy Efficient End-Use Equipment (4E), Smart Sustainability in Lighting and Controls (SSLC), Stockholm, Sweden, ISBN: 978-1-83654-223-0

christophe.martinsons@cstb.fr

