



RISQUE RETINIEN EN LUMIERE BLEUE : LES VALEURS LIMITE D'EXPOSITION SONT ELLES INADAPTÉES ?

Sébastien Point,
Docteur en physique ,
Ingénieur en optique,
Licencié en psychopathologies

Vice-Président de la section Rayonnements Non-Ionisants de la SFRP
Responsable du service Etudes, Essais & Qualification Centre d'excellence
Eclairage de sécurité , Groupe Eaton, Division Life Safety.



Powering Business Worldwide

- Nature du risque rétinien en lumière bleue
- Evaluation de l'exposition
- Des effets faible dose?
- Les enfants plus exposés à cause des LEDs?

- Que sait-on des mécanismes biologiques de la blessure photochimique?
 - Pas d'élévation de température (<1°C);
 - La lumière bleue déposée sur la rétine engendre la création d'espèces réactives de l'oxygène (ROS);
 - Le phénomène de stress oxydatif apparaît quand les mécanismes protecteurs ou réparateurs sont submergés;
 - Le stress oxydatif se caractérise par:
 - une peroxydation lipidique,
 - une modification des protéines et des enzymes,
 - une altération des acides nucléiques et de leur expression.



Figure 1: *Lésions photochimiques de la rétine.* Source: Césarini, 2009

Evaluation de l'exposition

- Un spectre d'action $B(\lambda)$ normalisé par ICNIRP
- Une grandeur spécifique L_b

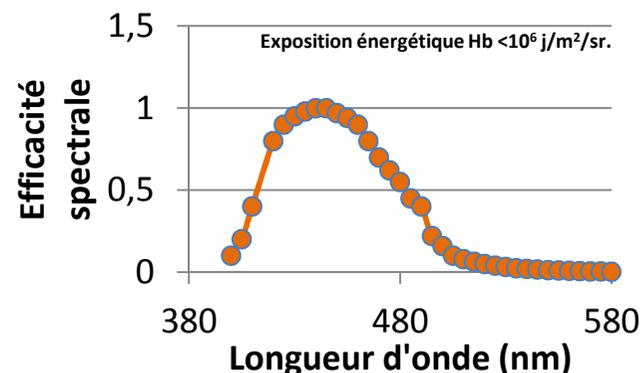


Figure 2: spectre d'action $B(\lambda)$

$$L_b = \int B(\lambda) \cdot L_\theta(\lambda) \cdot d\lambda \quad \text{sur } 300\text{-}700 \text{ nm,}$$

$$H_b = L_b \cdot t < 10^6 \text{ j/m}^2/\text{sr.}$$

- Un classement dans un groupe de risque

Risque rétinien en lumière bleue	RG0	RG1	RG2	RG3
Durée max d'exposition t (s)	10 000	100	0.25	<0.25
L_b lim (w.m ² /sr)	<100 (= 10 ⁶ /10000)	<10 000	<4 000 000	>4 000 000

Figure 3: groupes de risques photobiologiques suivant IEC 62471)

Des études alarmantes sur des rats...

Face à la généralisation des LEDs, dont le spectre peut être riche en bleu, on s'interroge sur un possible effet faible dose qui affecterait la rétine sur le long terme et remettrait en cause la pertinence des normes actuelles.

Des études récentes démontrent une toxicité des LEDs blanches sous de faibles luminances (Jaadane et al, 2015/2017; Shang et al, 2013) ou sous des éclairagements de niveaux domestiques (Krigel et al, 2016) **sur les rats**; leurs auteurs appellent à une ré-évaluation des normes.

Shang et al, 2013 « Although 14 d dark maintained albinos retinas are more susceptible to light-induced damage than normal pigmented retinas (...) this model clearly demonstrates that the SPD of White LEDs now being introduced for domestic lighting pose a theoretical risk compared to CFLs ».

Jaadane et al, 2015 « Taken together these data indicate that the blue component of the LED is the major cause of retinal damage, as has been previously predicted. In addition, current regulation establishes that for an exposure greater than 10 000s, ELV, expressed in term of blue light radiance, is about 100 W/m²/sr, largely over the radiances used in this study, suggesting that these regulations should be reevaluated by transposing our results to the human eye ».

Krigel et al, 2016 « Taken together these data suggest that the blue component of the white-LED may cause retinal toxicity at occupational domestic illuminance and not only in extreme experimental conditions, as previously suspected. It is important to note that the current regulations and standards have been established on the base of acute light exposure and do not take into account the effect of repeated exposure. (...) Since LEDs will very soon become the predominant light source in our domestic environment, it becomes urgent to establish a safe way to use them in the short and long term ».

Des effets faible dose?

... à faible validité externe

Espèce	Relation entre luminance de la source L_s et éclairage rétinien E_r .
Humain	$E_r=0,0097.L_s$ (pour un diamètre pupillaire de 2mm, une distance focale de 17mm et une transmission de 90%)
Singe rhésus	$E_r=0,011.L_s$ (pour un diamètre pupillaire de 1,7mm, une distance focale de 13,5mm et une transmission de 90%)
Rat	$E_r=0,016.L_s$ (pour un diamètre pupillaire de 0,05mm, une distance focale de 3,3 mm et une transmission de 90%)

D'après Sliney, 1984

$$E_{\text{retinal}} = \frac{\pi.L_s.t.d^2}{4.f^2},$$

where, d is the pupil diameter, f the focal length, and t the eye visible radiation transmission.

Pour une même luminance de source L_{S0} ,

$$E_{r_{\text{rat}}} = \frac{0,016.E_{r_{\text{humain}}}}{0,0097}$$

$$E_{r_{\text{rat}}} = 1,65.E_{r_{\text{humain}}}$$

Lorsque la pupille du rat dilatée ($\varnothing 5\text{mm}$)

(Dirk Van Norren & Peter Schellekens,, 1990), on peut atteindre:

$$E_{r_{\text{rat}}} = 165.E_{r_{\text{humain}}}$$

Sans compter, lorsque le rat est de type albinos, la diffusion de lumière à travers l'iris...

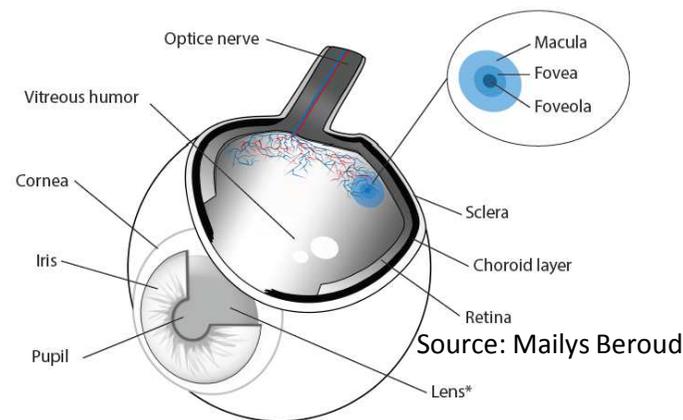
Des études sur les rats ... à faible validité externe

$$E_{\text{retinal}} = \frac{\pi \cdot L_s \cdot t \cdot d^2}{4 \cdot f^2},$$

where, d is the pupil diameter, f the focal length, and t the eye visible radiance transmission.

Table 2. Calculated exposure values and exposure time involving some images on rat eye (Jaadane *et al.*, 2015) and calculated light radiance needed to produce same exposure on human retina with $d=3$ mm, $t=0.9$ and $f=17$ mm.

Calculated exposure D (J/cm ²) (Jaadane <i>et al.</i> , 2015)	Exposure time T (h) (Jaadane <i>et al.</i> , 2015)	Calculated E_{retinal} (W/m ²) (this study)	Full spectrum radiance for human eye L_s (W/m ² /sr) (this study)
81	12	18.7	852
125	18	19.3	876
151	24	17.5	794
303	48	17.5	797
453	72	17.5	794



Source: Mailys Beroud

Source des tableaux: Point & Lambrozo, 2017.

Table 3. Calculated $B\lambda$ -weighted blue radiance from the knowledge of white light radiance.

L_s (W/m ² /sr)	L_b (W/m ² /sr)
852	107.5
876	110.5
794	100
797	100.5
794	100

Les enfants plus exposés?

L'effet de la biométrie

Longueur focale

f=15,74 mm (Lotmar,1976)

Diamètre de pupille

D=4,6mm (Roarty & Keltner, 1990)

$$E_{\text{retinal}} = \frac{\pi \cdot L \cdot s \cdot t \cdot d^2}{4 \cdot f^2},$$

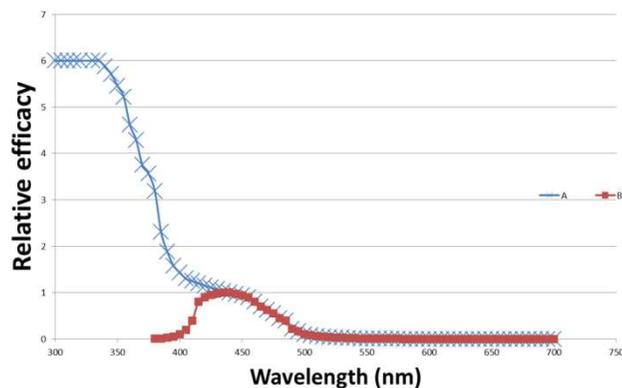
where, d is the pupil diameter, f the focal length, and t the eye visible radiation transmission.

Eye model	L (w/m ² /sr)	Eretinal (W/m ²)
Adult Focal=17mm; Pupil= 3mm;	L	L/45
Infant Focal=15,7mm; Pupil= 4,6mm;	L	L/16

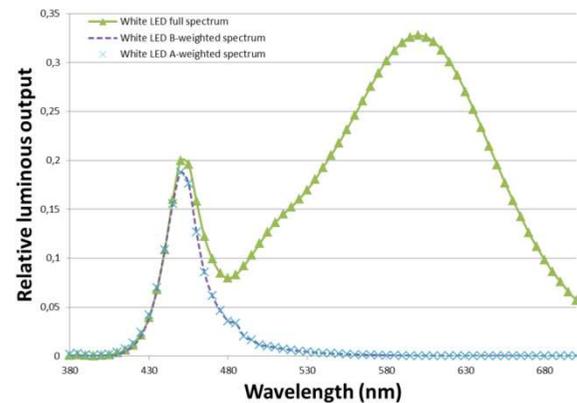
Risque rétinien en lumière bleue	RG0	RG1	RG2	RG3
Durée max d'exposition t (s)	10 000	100	0.25	<0.25
Lb lim (w.m ² /sr)	<100 36	<10 000 3600	<4 000 000 143 000	>4 000 000 143 000

Les enfants plus exposés?

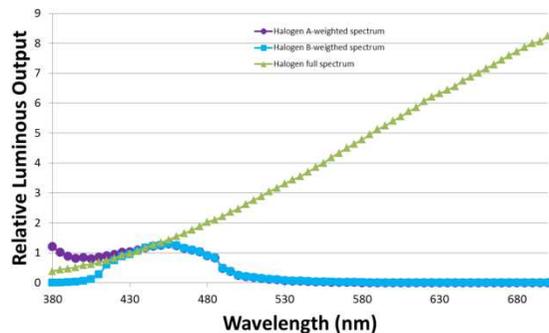
L'effet de la transparence du cristallin



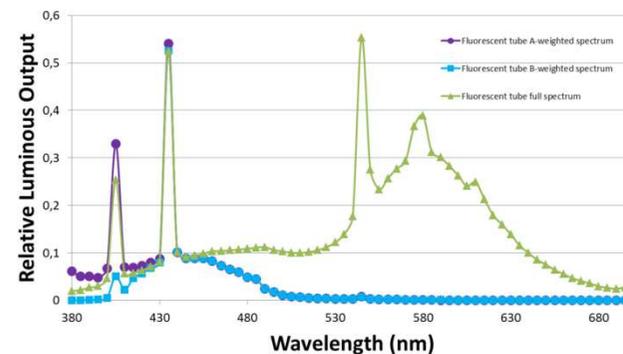
Source: Point, 2018



Lb x 1



Lb x 1,35



Lb x 1,4

- Des études animales à interpréter avec précaution;
- Pas de preuve en l'état actuel des connaissances d'un effet délétère des LEDs à des niveaux d'éclairage domestiques en usage normal chez l'Homme;
- Un manque de considération des spécificités des yeux des très jeunes enfants dans les normes.

- Noell et al, 1966, Retinal damage by light in rats, Investigative Ophthalmology, Vol 5, N°5.
- Ham W.T, Mueller H.A, Sliney D, Retinal sensitivity to damage from short wavelength light, Nature, Vol.260, N°5547, pp.153-155, March 11, 1976.
- Van Norren et Schellekens, Vision Res. Vol.30, No.10, pp. 1517-1520, 1990.
- Crochet et al, 2006
- JP Césarini, Risques oculaires du rayonnement bleu, Radioprotection, Vol.44, N°4 (2009)
- Landiev I et al. 2008. Müller Cell response to Blue Light Injury of the rat retina. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 49(8): 3559–3567.
- Shang et al, 2013
- Chang SW et al. 2016. Increased expression of osteopontin in retinal degeneration induced by blue light-emitting diode exposure in mice. Front. Mol. Neurosci. 9, 58.
- Jaadane I et al. 2015. Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LEDs). Free Radic. Biol. Med. 84: 373–384.
- Geiger P et al. 2015. Blue light-induced retinal lesions, intraretinal vascular leakage and edema formation in the all-cone mouse retina. Cell Death Dis. 6: e1985.
- Nakanishi-Ueda T et al. 2013. Blue LED light exposure develops intracellular reactive oxygen species, lipid peroxidation, and subsequent cellular injuries in cultured bovine retinal pigment epithelial cells. Free Rad. Res. 47(10): 774–780.
- Krigel A et al. 2016. Light-induced retinal damage using different light sources, protocols and rat strains reveals LED phototoxicity. Neuroscience 339: 296–307.
- Shang YM et al. 2017. Light-emitting-diode induced retinal damage and its wavelength dependency in vivo. Int. J. Ophthalmol. 10(2): 191–202.
- Jaadane I et al. 2017. Effects of white light-emitting diode (LED) exposure on retinal pigment epithelium in vivo. J. Cell Mol. Med. 21(12): 3453–3466.
- Ratnayake et al., “Blue light excited retinal intercepts cellular signalling”, *Scientific reports* (2018) 8:10207.
- IEC 62471. 2006. Photobiological safety of lamps and lamp systems.
- International Electrotechnical Commission.
- Sébastien POINT, LEDs et sécurité oculaire, *Photoniques* n°45, 2010.
- *Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED)*, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective, Edition scientifique (octobre 2010).
- Sliney D. 1984. Quantifying retinal irradiance levels in light damage experiments. Curr. Eye Res. 3(1): 175–179.
- Point S, Lambrozo J. 2017. Some evidences that white LEDs are toxic for human at domestic radiance? Radioprotection 52(4): 297–299.
- Lotmar W. 1976. A theoretical model for the eye of new-born infants. Albrecht Von Graefes Arch. Klin. Exp. Ophthalmol. 198(2): 179–185.
- Roarty JD, Keltner JL. 1990. Normal pupil size and anisocoria in newborn infants. Arch. Ophthalmol. 108(1): 94–95.
- Point S. 2018. Blue Light Hazard: are exposure limit values protective enough for newborn infants? Radioprotection.

