

*Congrès SFRP, 14-18 Juin 2021*



# **RISQUE RÉTINIEN EN LUMIÈRE BLEUE : INFLUENCE DES PARAMÈTRES OPTIQUES DU MODÈLE D'OEIL**

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

Président de la section Rayonnements Non-Ionisants de la SFRP  
Responsable du service Etudes, Essais & Qualifications, centre d'excellence  
éclairage de sécurité, Groupe Eaton (Division Life Safety).  
Chargé d'enseignement vacataire à l'Université Clermont-Auvergne

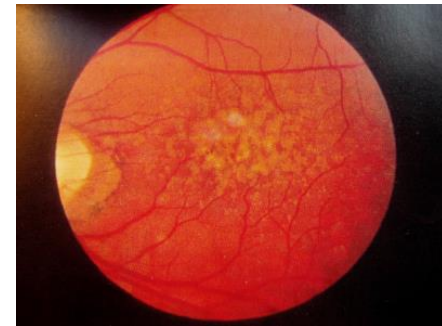


# Plan de la présentation

- 1- Mécanismes de la blessure photochimique en lumière bleue.**
- 2- Comment les normes de sécurité photobiologique sont-elles construites ?**
- 3- Influence du modèle d'œil sur l'exposition rétinienne.**
- 4- Conclusion**

## Blessure photochimique: une conséquence du stress oxydatif

- L'action de la lumière bleue sur le matériel fortement irrigué que constitue la rétine engendre la création d'espèces réactives de l'oxygène à l'origine d'un stress oxydatif.
- Des lésions liées au stress oxydatif apparaissent lorsque la concentration de ROS submerge les capacités des mécanismes protecteurs et réparateurs:
  - peroxydation lipidique des membranes cellulaires (EPR et photorécepteurs),
  - modification des protéines et des enzymes,
  - altération des acides nucléiques .

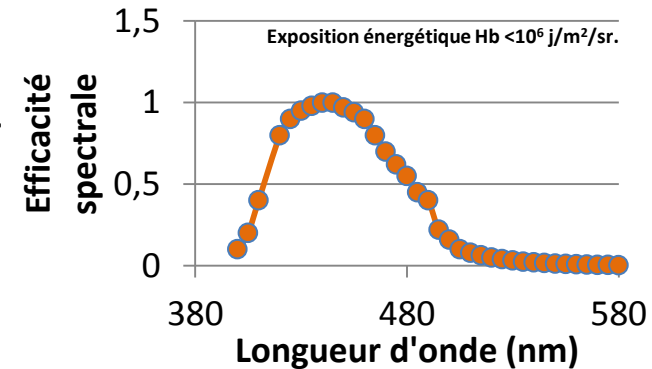


Fond d'oeil montrant le blanchiment typique de la rétine à la suite d'une surexposition à la lumière bleue.

Source: Césarini, 2009

## IEC 62471

- Un spectre d'action  $B(\lambda)$  normalisé par ICNIRP
- Une exposition énergétique maximale



Spectre d'action  $B(\lambda)$

$D_b = L_b \cdot t < 10^6 \text{ j/m}^2/\text{sr}$  (= 2,2 J/cm<sup>2</sup> pour 1 pupille d'œil de 3mm )

dont dérive la luminance efficace en lumière bleue

$$L_b = D_b / t$$

- Un classement dans un groupe de risque

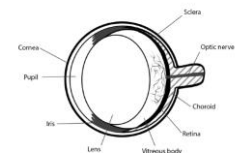
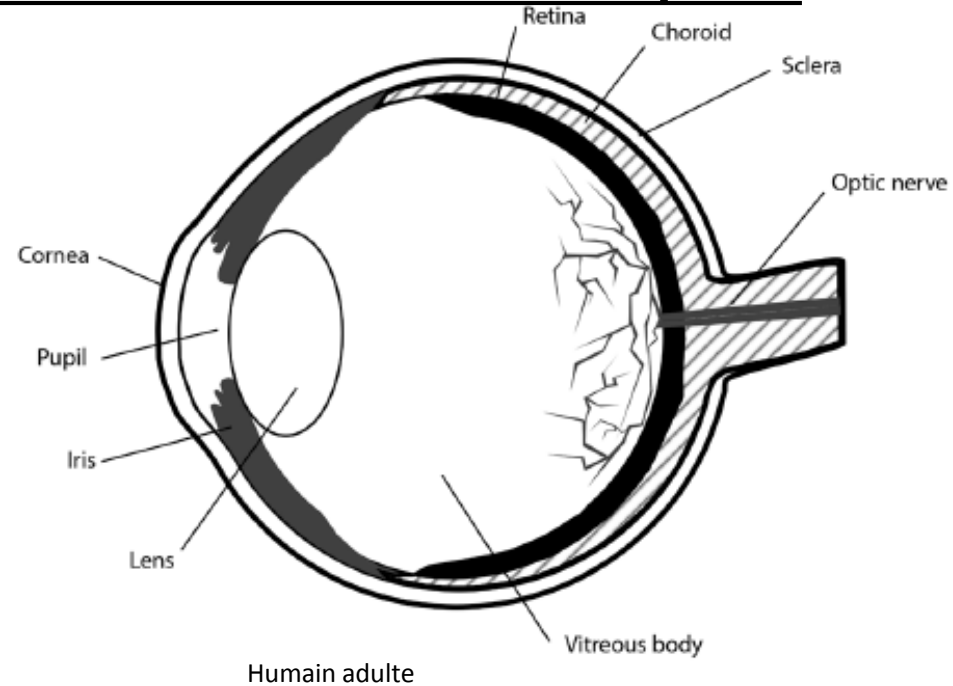
Groupes de risques photobiologiques suivant IEC 62471)

Risque rétinien en lumière bleue	RG0	RG1	RG2	RG3
Durée max d'exposition t (s) à 200mm	10 000	100	0.25	<0.25
Lb lim (w.m <sup>2</sup> /sr)	<100 (= 10 <sup>6</sup> /10000)	<10 000	<4 000 000	>4 000 000

- Modèle d'œil et différence d'ouverture relative entre espèces

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

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



Rat

- Modèle d'œil et différence d'ouverture relative entre espèces**

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

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

Specie	Relation between source radiance Ls and retinal irradiance Er
Human	<b>Er=0,0097.Ls</b> (for a 2mm pupil size and a 17mm focal length)
Rhesus monkey	<b>Er=0,011.Ls</b> (for a 1,7mm pupil size and 13,5mm focal length)
Rat	<b>Er=0,016.Ls</b> (for a 0,5mm pupil size and a 3,3 mm focal length)

**Ouvertures relative ( Nombre d'ouverture):**

**-Humain: 0,11 (8,5)**

**-Rat: 0,15 (6,6)**

Source: David Sliney, 1984.

**Avec ces valeurs, pour une même luminance de source L<sub>SO</sub>,**

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

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

**Mais pas si simple!**

- Des incertitudes sur la focale d'œil du rat, donc sur l'exposition rétinienne calculée

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

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

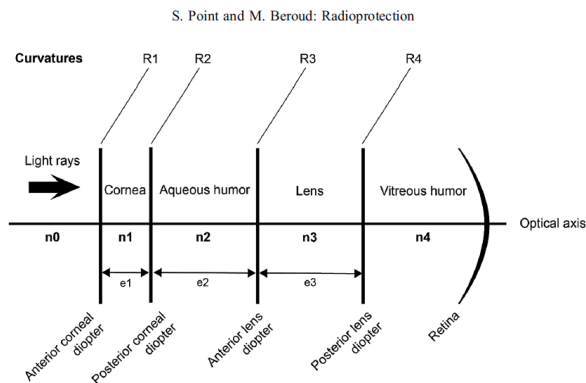


Fig. 3. Optical representation of the rat eye.

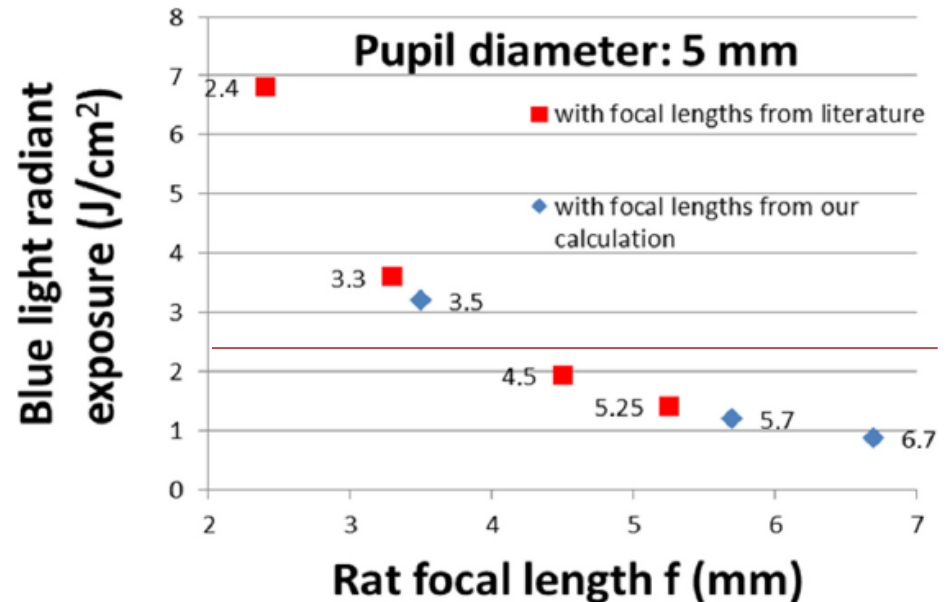


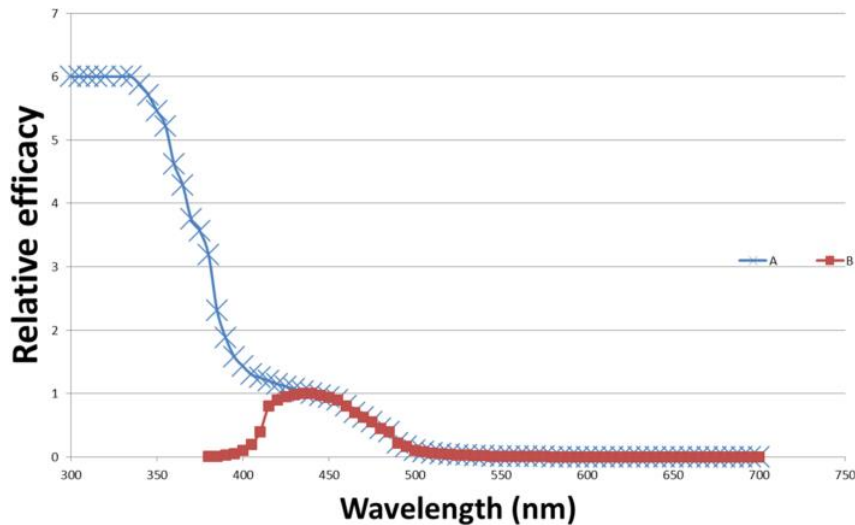
Fig. 6. Calculated values of radiant exposure for values of focal length in Tables 2 and 3 at a 5 mm rat pupil diameter for 20 000 s ( $\approx 5$  h30 min) long exposure to an  $8 \text{ W/m}^2/\text{sr}$  LED. Blue light exposure is the product of blue light irradiance by duration.

→ Des facteurs de correction à appliquer pour prendre en compte les différences d'ouverture relative

	0.4 mm (extreme contraction under bright light)	2 mm (normal contraction under dim light)	5 mm (atropinized eye)
Rat pupil size			
2.4 mm	$E_{\text{rat}} = 0.9.Er_{\text{human}}$	$E_{\text{rat}} = 22.Er_{\text{human}}$	$E_{\text{rat}} = 139.Er_{\text{human}}$
Rat focal length			
5.25 mm	$E_{\text{rat}} = 0.2.Er_{\text{human}}$	$E_{\text{rat}} = 5.Er_{\text{human}}$	$E_{\text{rat}} = 29.Er_{\text{human}}$

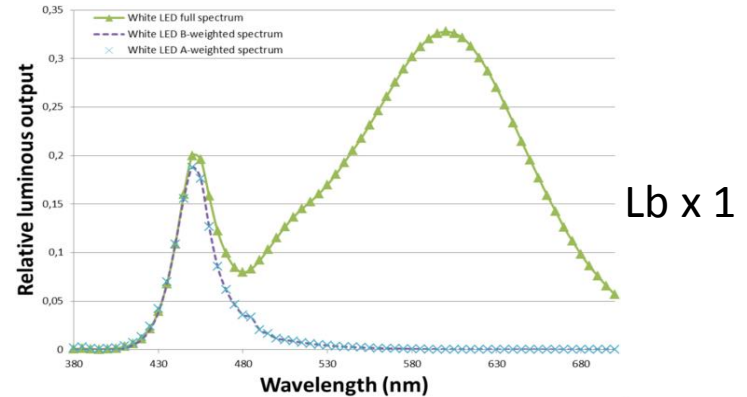


- Œil de l'enfant
  - Effet de la transparence du cristallin

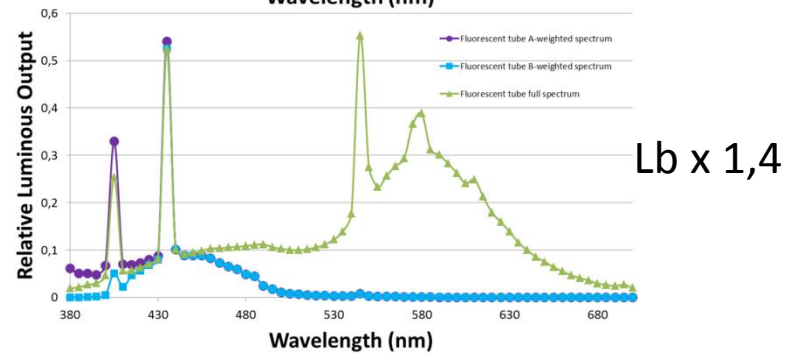


B action spectrum and aphakic A action spectrum Source: Point, 2018.

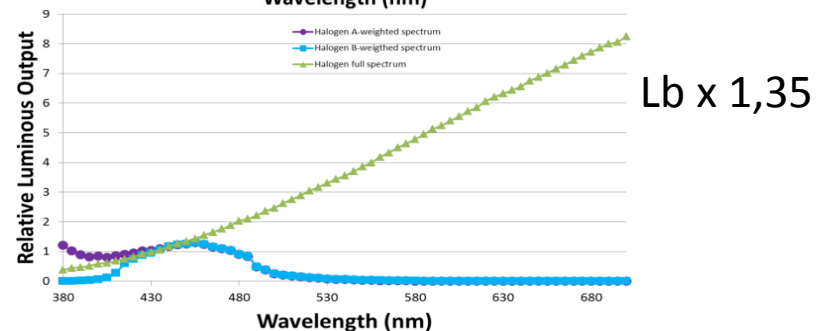
B-weighted spectrum and A-weighted spectrum for 3 commercial lamps.



Lb x 1



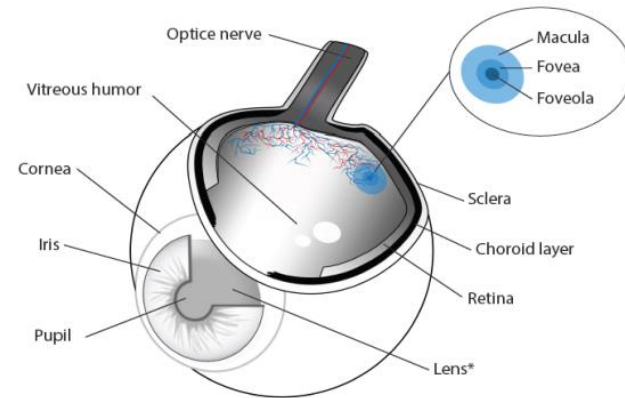
Lb x 1,4



Lb x 1,35

- Œil de l'enfant
  - Effet de l'ouverture relative

Human eye model	L ( $\text{w/m}^2$ /sr)	Er ( $\text{W/m}^2$ )
with adult parameters Focal=17mm; Pupil= 3mm; D/F=0,18 (F/D=5,7)	<b>L</b>	$Er_{\text{adult}} = L/45$
with infant (<1 yo) parameters Focal=15,74mm (Lotmar,1976); Pupil= 4,6mm (Roarty & Keltner, 1990) D/F=0,29 (F/D=3,4)		$Er_{\text{infant}} = L/15$



Influence of infant eye biometry on the ratio between source radiance and retinal irradiance.



$$Er_{\text{infant}} \approx 3 \times Er_{\text{adult}}$$

- Les différences anatomiques entre un œil animal et un œil humain justifient la prise en compte de facteurs de correction adéquats lors de l'évaluation de l'éclairement rétinien.
- Nécessité de développer dans les normes un modèle d'œil de l'enfant et d'en déduire des limites spécifiques.



Un risque d'exposition aiguë faible et maîtrisé pour la population générale mais des populations plus à risque:

**Des populations spécifiques**

- Les enfants (Point, 2018)
- Les aphaques ou pseudo-aphaques
- Des cas médicaux particuliers

**Dans certaines catégories professionnelles**

- Les métiers du spectacle
- Le personnel intervenant sur les installations d'éclairage
- Le personnel de R&D chargé de la conception ou de la validation des appareils à LEDs
- Le personnel chargé du contrôle qualité des LEDs ou utilisant des lampes à LEDs

- Modèle d'œil de l'enfant

- Les effets chronobiologiques

- Noell et al., Retinal damage by light in rats, *Investigative Ophthalmology*, Vol 5, N°5, October 1966.
- 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.)
- Young RW, 1988, Solar radiation and age-relayed macular degeneration, *Surv. Ophthalmol.*, 32:253.
- Felix et al, 1978, Melanin photoreactions in aerated media: electron spin resonance evidence for production of superoxide and hydrogen peroxide, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 84:335.
- Korytowski et al, 1985, Mechanism of dismutation of superoxide produced during autooxidation of melanin pigments, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 131:659.
- Korytowski et al, 1987, Photoinduced generation of hydrogen peroxide and hydroxyl radicals in melanins, *Photochem. Photobiol.*, 45:185.
- Youssef et al, Retinal light toxicity, *Eye* (2011) 25, 1-14.
- Ratnayake et al., "Blue light excited retinal intercepts cellular signalling", *Scientific reports* (2018) 8:10207.
- JP Césarini, Risques oculaires du rayonnement bleu, *Radioprotection*, Vol.44, N°4 (2009).
- IEC 62471. 2006. Photobiological safety of lamps and lamp systems.
- 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).
- Shang et al., White Light-Emitting Diodes (LEDs) at Domestic Lighting Levels and Retinal Injury in a Rat Model, *Environmental Health perspectives*, december 2013.
- Jaadane I et al. 2015. Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LEDs). *Free Radic. Biol. Med.* 84: 373–384.
- 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.
- 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*.
- **Mukai R. et al. (2012) Functional and Morphologic Consequences of Light Exposure in Primate Eyes Investigative Ophthalmology & Visual Science September 2012, Vol.53.**
- **Hunter J. et al. (2012) The susceptibility of the retina to photochemical damage from visible light, Progress in Retinal and Eye Research 31 (2012) 28e42.**



# Des effets faible dose?

## Mise en évidence d'un effet cumulatif

Duration of each exposure (s)	Number of exposures	Time between each exposure	Radiant exposure value @ 441,6nm (J/cm <sup>2</sup> )	Photochemical lesion
10 000	1	-	50	Moderately severe
1000	2	48	15	Minimal lesion
1000	10	48	7,5	No

### Rappel:

l'exposition énergétique maximale est de 2,2 J/cm<sup>2</sup> (pendant 100 s pour RG1, et 10 000 s pour RG0)

Ham et al, 1978

# Des effets faible dose?

## Des verres protecteurs?

Effet des verres "anti-lumière bleue" sur la luminance d'une LED 5180 K

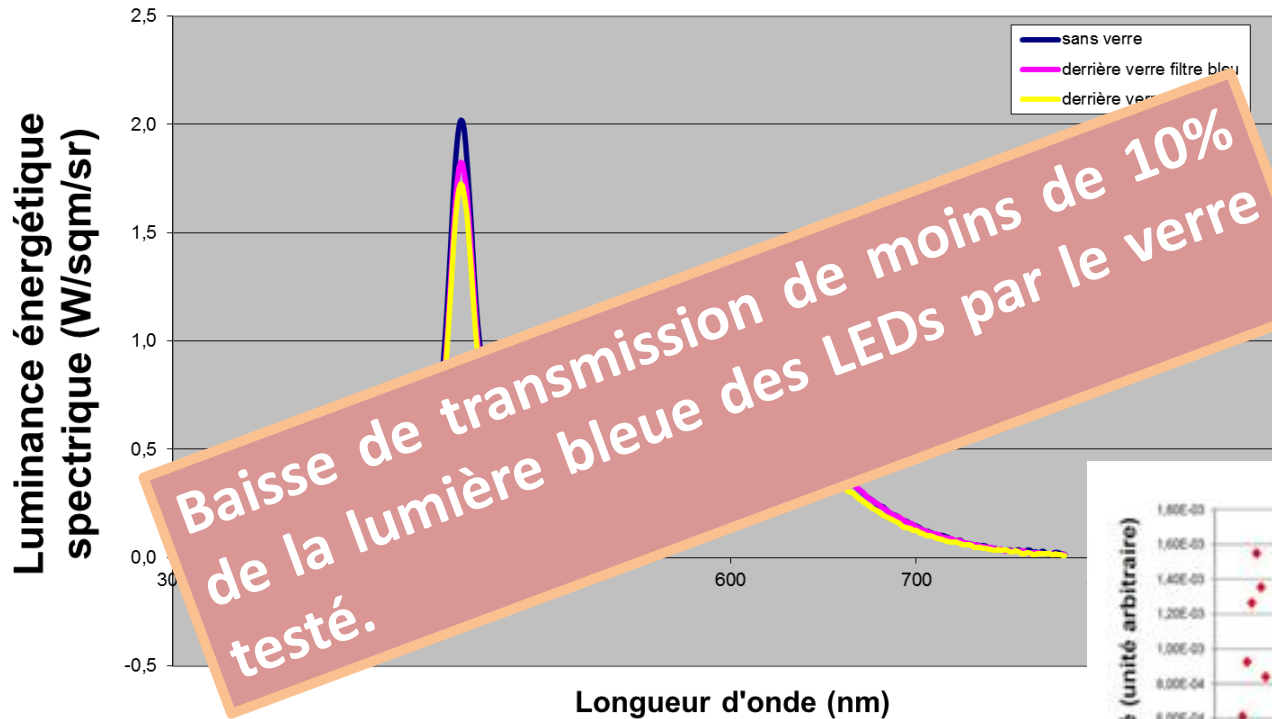
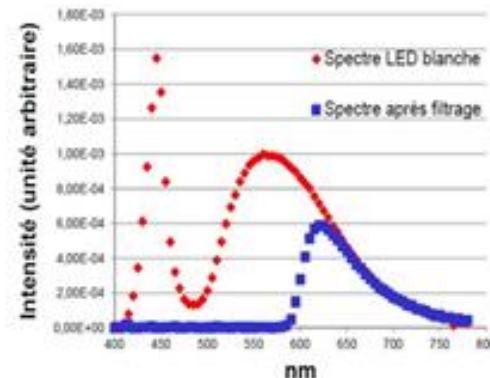
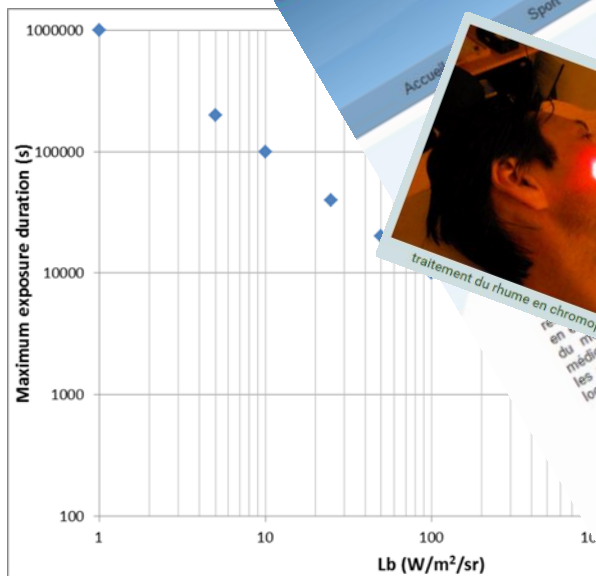


Figure 11: A gauche: spectre d'une LED blanche sans filtrage, après filtrage par un verre "antibleu", et après filtrage dans un verre simple. Source: S.Point. Ci-dessous: effet du filtrage de lunettes "Laser" utilisables comme EPI pour le personnel exposé à de fortes intensités de lumière bleue.



**Yamamoto**  
NdYAG 532 nm OD 10

## Pratiques à risque chromo « thérapie »




**vibrallife**  
Accès Conseillers  
Contactez-Nous  
Informations  
Thérapeutes  
Sport  
Biologie

**CMP et Chromothérapie**  
par Champ Magnétique et Chromothérapie

Accueil | Informations | Thérapeutes | Sport | Biologie | Contactez-Nous | Accès Conseillers

Les informations p...  
cerveau et le systè...  
neveux autonome et le...

En médecine et en cosmé...  
processus de régénération...  
d'oscillation, qui contribuent à...  
sensibilisable aux effets de résonance.

La chromothérapie et la thérapie par o...  
sur des mécanismes semblables. Lors...  
de lumière colorée, des synergies se créen...

Effet cosmétique général des couleurs

Bleu  
Hydratation de la peau, affinement de l'épiderme, régularisation de la production de sebum, atténuation des imitations de la peau.

biologiques de...  
la même façon

habitaine et à...  
transformae...  
essus...  
ordre

diencéphale, où elles sont reliées avec le...  
du système immunitaire et du système

metabolisme cellulaire et contribue au...  
aux différentes couleurs, des fréquences...  
chromagnétique

posent sur les mêmes mécanismes ou tout au moins...  
en simultané des deux procédures à l'aide de l'applicateur...  
nombre plus important d'influences électromagnétiques.

traitement du rhume en chromopuncture  
en m...  
du m...  
médical...  
les yeux...  
localisée

traitement de l'acné en local avec spot led

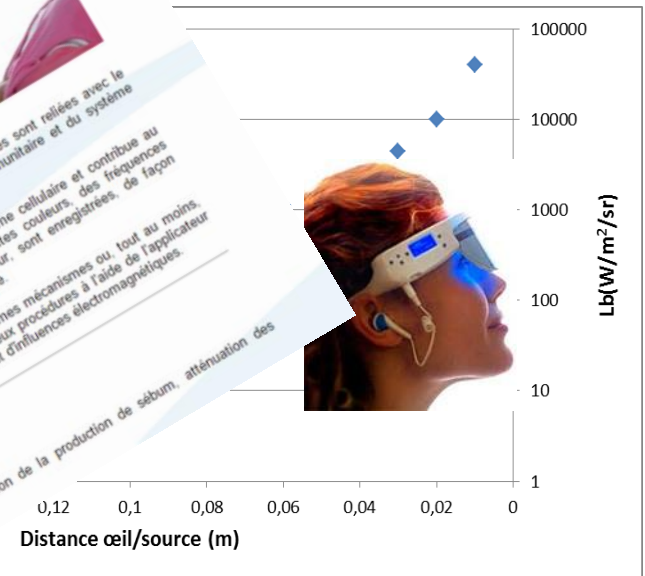


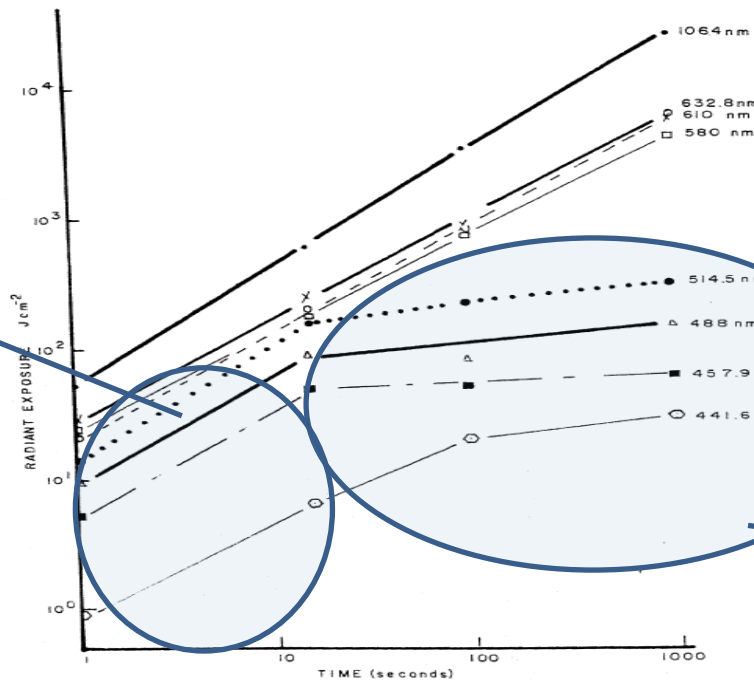
Figure 10: T vs Lb pour les groupes de risque nul & faible à 20 cm. D'après: S.Point, Skepical Inquirer, 2017.

Figure 11: impact de la distance sur Lb dans le cas d'une source de 100W/m²/sr plus petite que le champ de vision. D'après: S.Point, Skepical Inquirer, 2017.

# Des effets faible dose?

## Un effet cumulatif?

WILLIAM T. HAM, JR. *et al.*



Domaine thermique

Domaine photochimique

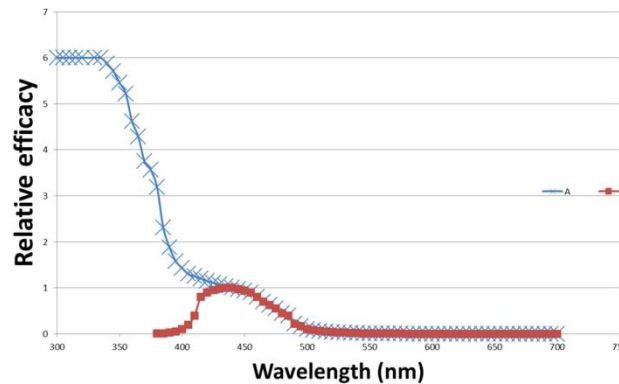
Mécanismes de protection et réparation submergés

Contribution thermique (Ham et al, 1978)?

Translocation de la transducine du segment externe au segment interne (Organisciak and Vaughan, 2010)?

Photostasis?

Figure 12: Radiant exposure required to produce a minimal lesion at various exposure times for eight wavelengths.  $H_0$  in  $J/cm^2$  is plotted on the ordinate vs exposure time in s along the abscissa in a log-log plot.



S. Point and M. Beroud: Radioprotection

7

### Annexe A. Detail of eye image focal length (f) calculation.

$f$	$= n_4/V_o$
$V_o$	$= V_c + V_{cr} - H'coHcr.Vc.Vcr$
$V_c$	$= V_{caf} + V_{cpf} - e_1.(V_{caf}.V_{cpf}).n_1$
$V_{caf}$	$= (n_1 - n_0)/R_1$
$V_{cpf}$	$= (n_2 - n_1)/R_2$
$V_{cr}$	$= V_{craf} + V_{crpf} - e_3.(V_{craf}.V_{crpf}).n_3$
$V_{craf}$	$= (n_3 - n_2)/R_3$
$V_{crpf}$	$= (n_4 - n_3)/R_4$
$H'coHcr$	$= -P_2H'co + e_2 - P_3Hcr$
$P_2H'co$	$= -e_2.f'c/f'caf$
$f'c$	$= n_2/V_c$
$f'caf$	$= n_1/V_{caf}$
$P_3Hcr$	$= e_3.f'cr/f'crpf$
$f'cr$	$= -n_3/V_{cr}$

$f'crpf$	$= n_4/V_{crpf}$
$P_2$	Vertices of corneal anterior face
$P_3$	Vertices of crystalline anterior face
$Hcr$	Object principal point of crystalline lens
$H'co$	Image principal point of cornea
$V_o$	Vergence of the entire eye
$V_c$	Vergence of the entire cornea
$V_{cr}$	Vergence of the entire crystalline lens (homogenous model)
$V_{caf}$	Vergence of the corneal anterior face
$V_{cpf}$	Vergence of the corneal posterior face
$V_{craf}$	Vergence of the crystalline lens anterior face
$V_{crpf}$	Vergence of the crystalline lens posterior face
$f'c$	Image focal length of the cornea
$f'caf$	Image focal length of the corneal anterior face
$f'cr$	Object focal length of crystalline lens
$f'crpf$	Image focal length of crystalline lens posterior face

## Mécanismes protecteurs

### → Antioxydants «préventifs»

Superoxide dismutase (neutralise l'ion radicalaire  $O_2^{\cdot-}$ )

Catalase (neutralise le peroxyde d'hydrogène  $H_2O_2$ )

La glutathion peroxidase (neutralise le peroxyde d'hydrogène  $H_2O_2$  et des peroxydes organiques)

### → Fixateurs de radicaux libres

Vitamine C

Glutathion

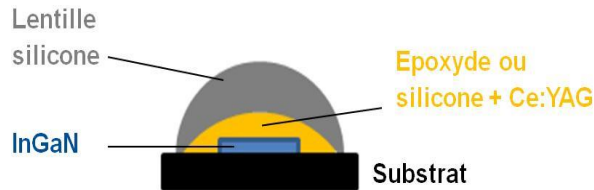
### → Antioxydants de rupture de chaîne

Vitamine E

### → Pigments maculaires

Zeaxanthine et lutéine

### → Réparation du segment externe des photorécepteurs



## Spectre typique

Figure 4: structure simplifiée d'une LED blanche

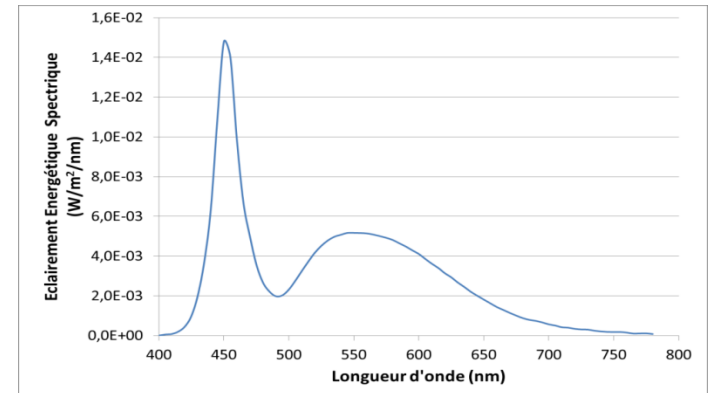


Figure 5: spectre typique d'une LED blanche à luminophore

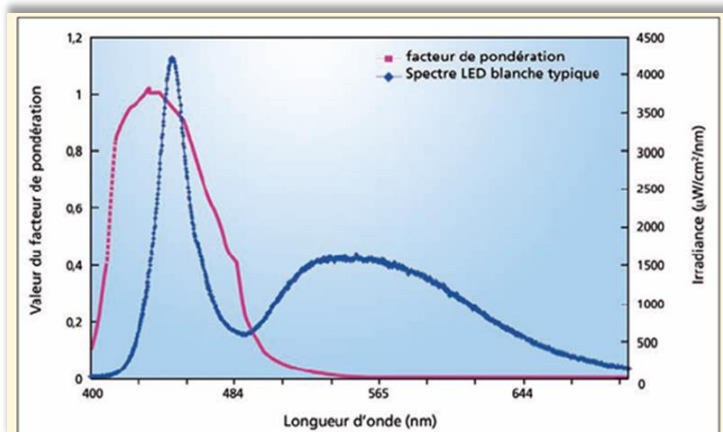


Figure 6: spectre typique d'une LED blanche à luminophore et spectre d'action  $B(\lambda)$ . Source: Point, 2010



## Exemples de groupes de risque

Type de LED	Flux	Luminance énergétique ou lumineuse	Durée limite d'exposition à une distance de 200 mm	Groupe de risque	Recommandation Marquage CEI/TR 62471-2
Bleu roi	0,07 W	21 000 W / m <sup>2</sup> / sr	100 s à 10 000 s	1 : risque faible	Non exigé
	0,5 W	150 000 W / m <sup>2</sup> / sr	15 à 20 s	2 : risque modéré	Ne pas regarder la source en utilisation normale. Peut être dangereux pour les yeux
	1 W	300 000 W / m <sup>2</sup> / sr	3 à 4 s	2 : risque modéré	
Blanc froid	100 lm	1,6.10 <sup>7</sup> cd / m <sup>2</sup>	VLE <sup>56</sup> non atteinte	0 : sans risque	Non exigé
	200 lm	3,2.10 <sup>7</sup> cd / m <sup>2</sup>	50 à 100 s	2 : risque modéré	Ne pas regarder la source en utilisation normale. Peut être dangereux pour les yeux
Blanc neutre	100 lm	1,6.10 <sup>7</sup> cd / m <sup>2</sup>	VLE non atteinte	0 : sans risque	Non exigé
	200 lm	3,2.10 <sup>7</sup> cd / m <sup>2</sup>	100 s à 10 000 s	1 : risque faible	
Blanc chaud	100 lm	1,1.10 <sup>7</sup> cd / m <sup>2</sup>	VLE non atteinte	0 : sans risque	Non exigé
	200 lm	2,2.10 <sup>7</sup> cd / m <sup>2</sup>			

Figure 7: Comparaison de quelques types de LEDs commerciales.  
Extrait du rapport de l'anses (2010).



## Des études alarmantes sur des rats...

Face à la généralisation des LEDs, 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; 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/m<sup>2</sup>/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

-Les rats sont sujets aux dommages de classe 1, typiques des animaux nocturnes, caractérisés par l'apparition de lésions rétiniennes après une exposition longue à de faibles niveaux de lumière blanche. On ne peut écarter l'hypothèse que les observations faites sur les rats correspondent en réalité, et au moins en partie, à des lésions de classe 1 .

- Lawwill, 1972: the threshold retinal irradiance for monkey for four hours exposure to white light is **at least three log units** higher than that in the rat.
- Mice and rats have been shown to have lower thresholds for photic injury than do primate (Youssef, 2011).

-Dans certaines études (par ex. Shang et al, 2013), les rats sont maintenues dans l'obscurité avant les expériences: Organisciak et al ont démontré que la rétine des rats maintenus dans l'obscurité est plus riche en rhodopsine et plus fragile lors d'exposition à la lumière.