

Congrès National de Radioprotection,  
Lille, 7, 8 et 9 Juin 2017

# Tutoriale

## Lampes à LEDs : des risques pour la santé ?

Sébastien Point,  
Docteur en physique ,  
Ingénieur en optique,

Vice-Président de la section Rayonnements Non-  
Ionisants de la SFRP & rapporteur scientifique  
pour le risque en lumière visible,

Responsable du département Etudes &  
Qualification Eclairage de sécurité, Cooper  
Sécurité, Groupe Eaton.



# Plan

- Nature du risque rétinien en lumière bleue
- Exigences de sécurité photobiologique
- Protocole d'évaluation du risque
- Cas des lampes à LEDs
- Populations à risque
- Pratiques à risque
- Problématiques émergentes

# Nature du risque rétinien en lumière bleue

- Structure de l'œil

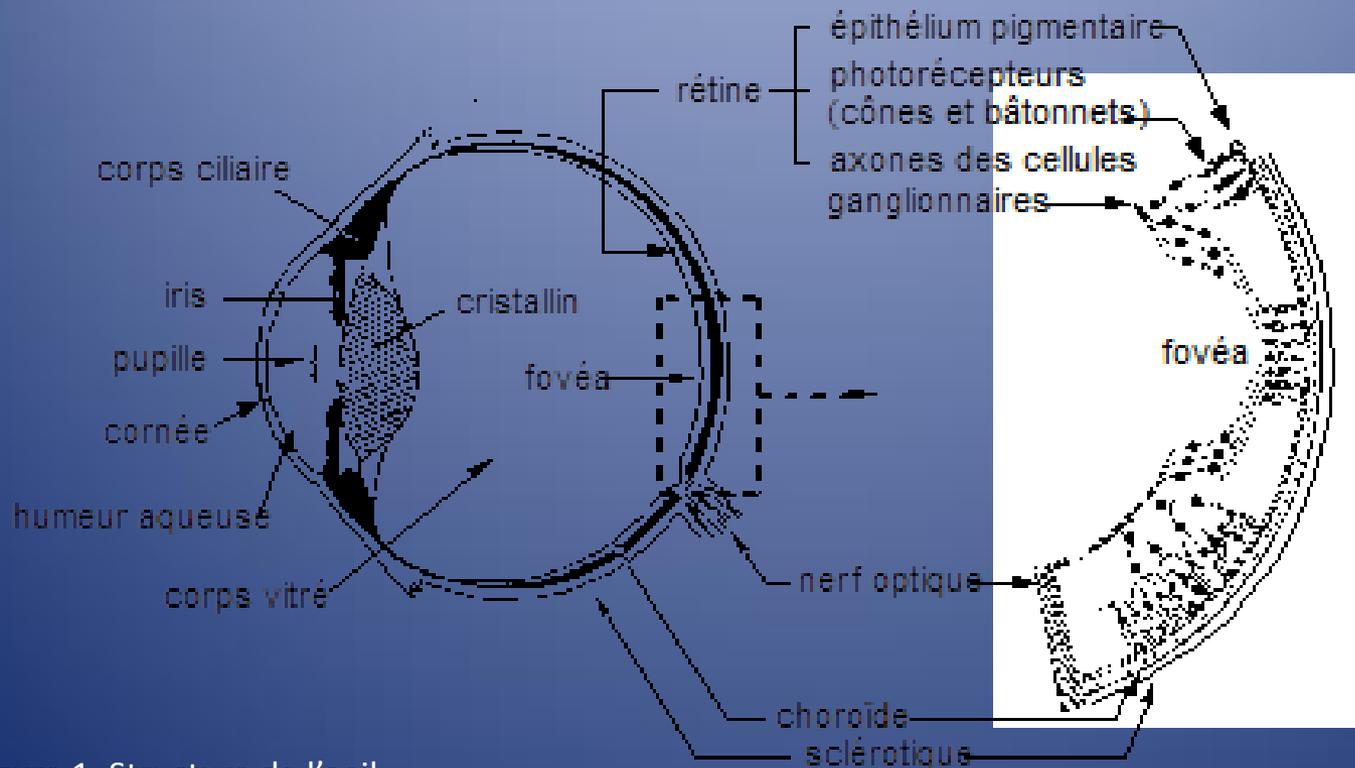
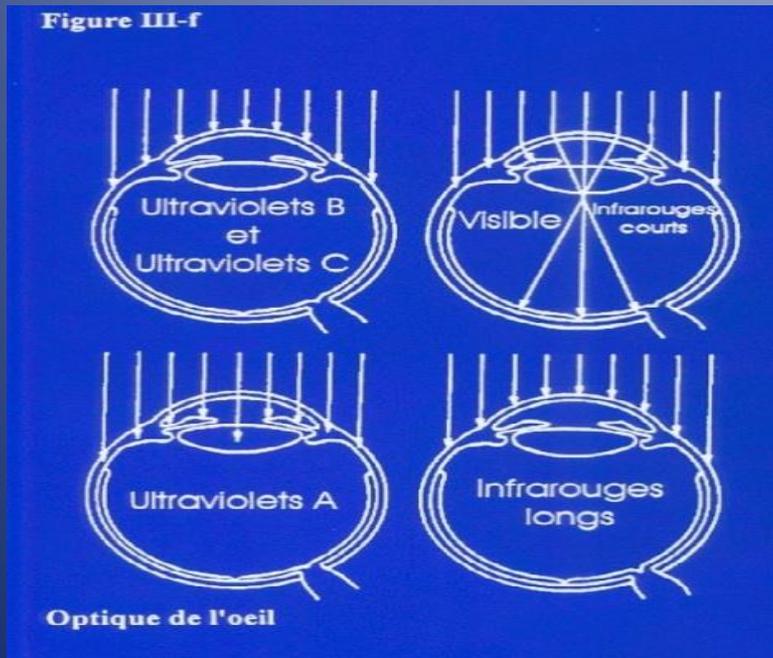


Figure 1: Structure de l'œil.

# Nature du risque rétinien en lumière bleue

- La transparence de l'œil varie selon les fréquences optiques



UV B,C: Photokératite (inflammation de la cornée).

UV A: Cataracte (opacification du cristallin).

IR: Cataracte "à la chaleur", brûlure de la rétine.

Visible:

-Blessure thermique.

-Blessure photochimique.

Figure 2: transparence de la cornée et du cristallin aux différents rayonnements optiques.

# Nature du risque rétinien en lumière bleue

- La blessure photochimique
  - Mise en évidence dans la seconde moitié du siècle dernier.
    - **1966:** Démonstration de la dégénération des photorécepteurs rétiniens de rats par mécanismes photochimiques sous certaines conditions d'éclairage fluorescent et de température ambiante, (*Noell et al, 1966*). Dommages dits de classe 1 (Destruction de photorécepteurs sous un faible éclairement rétinien ( $<1 \text{ mW/m}^2$ ) après expositions de quelques heures à quelques semaines à une lumière blanche, dont le spectre d'action correspond aux spectres d'absorption des pigments visuels. Plutôt spécifique aux animaux nocturnes ayant une sensibilité importante aux faibles niveaux de lumière).
    - **1976:** Mise en évidence sur des singes de lésions photochimiques liées à de fortes mais courtes expositions à des courtes longueurs d'ondes (*Ham, Mueller and Sliney, 1976*). Dommages dits de classe 2 == Blue Light Hazard ( Destruction de photorécepteurs et de l'EPR sous un fort éclairement rétinien ( $>10 \text{ mW/m}^2$ ) à la suite d' expositions courtes; spectre d'action  $B(\lambda)$ ).
    - **1990:** mise en évidence que des dommages de classe 2 peuvent également être provoqués chez le rat (*Van Norren and Schellekens, 1990*).

# Nature du risque rétinien en lumière bleue

- La blessure photochimique
  - Que sait-on des mécanismes biologiques de la blessure photochimique?
    - Différents des mécanismes de blessures thermiques:
      - Blessure thermique apparaissant après quelques secondes d'exposition (laser, flash nucléaire) typiquement accompagnée d'une élévation de température  $>10^{\circ}\text{C}$  et de lésions concentrées sur l'EPR (Crochet et al, 2006).
    - Caractérisés par la pression oxydative:
      - Pas d'élévation de température ( $<1^{\circ}\text{C}$ )
      - Le dépôt d'énergie sur le matériel fortement irrigué que constitue la rétine engendre la création d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) à l'origine:
        - d'une peroxydation lipidique,
        - d'une modification des protéines et des enzymes,
        - altération des acides nucléiques et de leur expression.
      - De nombreux travaux récents conduits pour affiner notre compréhension des mécanismes de blessure photochimique ( Grosche et al, 2008; Shang et al, 2013; Chang, 2016; Jaadane, 2016; Geiger, 2015 ;Nakanishi-Ueda et al, 2013; Shang et al, 2017; Krigel et al, 2016).
      - La rhodopsine et la lipofuscine semblent jouer un rôle dans la production des ROS (Youssef et al, 2011).
  - Quid des processus réparateurs?
    - Renouvellement permanent du **segment externe** des photorécepteurs par phagocytose (l'atteinte du segment interne semble plus problématique).
    - Action anti-oxydante de la glutathione, de l'acide ascorbique, de la vitamine E, des caroténoïdes, présents en quantité dans la rétine.

# Nature du risque rétinien en lumière bleue

- Diagnostic de la blessure photochimique

-In vivo: le fond d'œil & l'ERG.



Figure 3: fond d'œil montrant le blanchiment typique de la rétine à la suite d'une surexposition à la lumière bleue.

Source: JP Césarini, Risques oculaires du rayonnement bleu, Radioprotection, Vol.44, N°4 (2009).

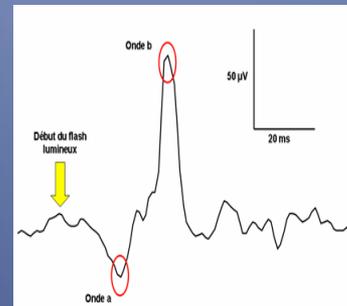


Figure 4: allure typique d'un électroretinogramme. La diminution de l'amplitude (mesurée entre le creux de l'onde a jusqu'au pic de l'onde b) permet de détecter un dysfonctionnement des cellules rétinienne. Onde A: réponse des photorécepteurs principalement. Onde B: réponse des cellules bipolaires et de Müller.

-In vitro: coupes histologiques.

Source: <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/24200/ch01.html>

# Exigences normatives

Norme fondamentale: EN 62471

Exigences de sécurité photobiologique pour les lampes et les appareils utilisant des lampes

Norme d'application: EN 62778

Application de l'EN 62471 aux sources de lumière et aux luminaires pour l'évaluation du risque lié à la lumière bleue

Normes produits (ex: EN 60598-1 édition 2014)

Luminaires: exigences générales et essais

**EATON**

Powering Business Worldwide

Déclaration de conformité **CE**  
Declaration of conformity  
Konformitätserklärung  
Declaração de conformidade

COOPER SECURITE S.A.  
PEER II - Rue Beethoven  
63200 Riom - FRANCE

déclare de sa seule responsabilité que les produits suivants  
hereby declare in its sole responsibility that the following products  
erklärt in alleiniger Verantwortung, dass die folgenden Produkte  
declara, de sua inteira responsabilidade, que os seguintes produtos

CRYSTALWAY 45 ADR COLiSe*	CRYSTALWAY 24-48XL-45
CRYSTALWAY 40L ADR COLiSe*	CRYSTALWAY 220XL-45
CRYSTALWAY 8 ADR COLiSe*	CRYSTALWAY 220XL-45
CRYSTALWAY 10M COLiSe*	CRYSTALWAY 220XL-45 Co-8
CRYSTALWAY 10M COLiSe*	CRYSTALWAY 220XL-45 Co-8 XL
CRYSTALWAY 24-48-45	CRYSTALWAY 20M 220MAINS
	CRYSTALWAY 30M 220MAINS

auxquels cette déclaration se rapporte, satisfait aux prescriptions des directives européennes suivantes  
that is the subject of this declaration, satisfies the terms of the following European directives  
auf die sich diese Erklärung bezieht, die Anforderungen der folgenden europäischen Richtlinien erfüllen  
a que se refere esta declaração, satisfazer os requisitos das seguintes diretivas europeias

2014/35/EU

**EN 60598-2-22:2014**  
**EN 61547:2009**  
**EN 55015:2013**  
**EN 61000-3-2:2009**  
**EN 62471:2008**  
**EN 62493:2010**

is  
ancy Lighting CoE Director

Figure 5: exemple d'une déclaration CE.

Source: S.Point.

# Exigences normatives

- Un spectre d'action normalisé par l'ICNIRP

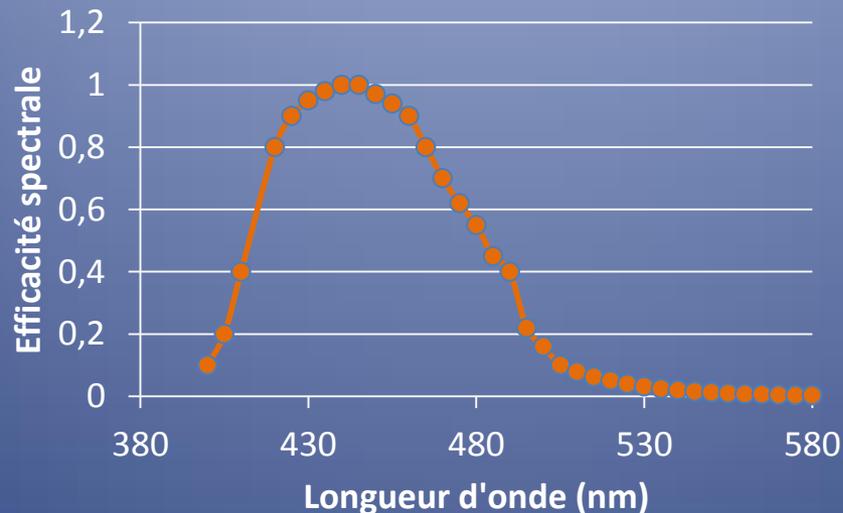


Figure 6: spectre d'action B(λ) du risque rétinien en lumière bleue.  
Source: S.Point.

Exposition énergétique Hb <math>10^6</math> j/m<sup>2</sup>/sr.

# Exigences normatives

- Une grandeur spécifique

La Luminance efficace en lumière bleue  $L_b$

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

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

NB: Spectre d'action pour l'œil de l'enfant différent de B, car le cristallin avant 8 ans est plus transparent que l'œil adulte.

# Exigences normatives

- Groupes de risque

<u>Risque rétinien en lumière bleue</u>	RG0	RG1	RG2	RG3
Durée max d'exposition t (s)	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

→  $Lb_{lim} = Hb/t$

# Exigences normatives

- Le marquage
  - Nécessaire si risque >RG1:

<b>Pictogramme</b>	
<b>Avertissement</b>	« Il convient que le luminaire soit positionné de telle manière que le regard prolongé du luminaire à une distance inférieure à x m ne soit pas attendue »
<b>Distance de sécurité</b>	$X = \frac{\sqrt{I_{max}(cd)}}{E_{thr}(lux)}$

# Protocole d'évaluation du risque

- Protocole de mesure standard (EN62471)

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

Durée d'exposition t (en seconde)	Groupe	Angle plat du champ de vision (en radians)	Diamètre de l'aire à observer à 200 mm
10 000s	0	100 mrad	20 mm
100 s	1	11 mrad	2,2 mm
0,25s	2	1,7 mrad	~0,3 mm
<0,25s	3	1,7 mrad	~0,3 mm

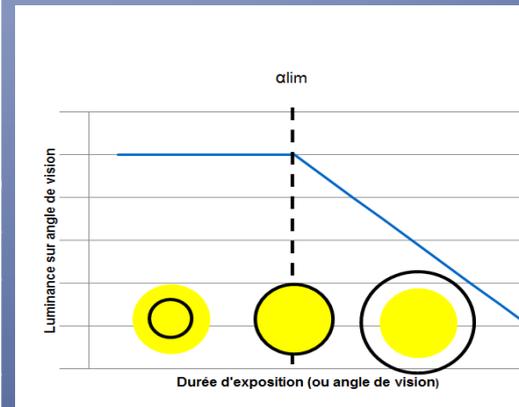


Figure 7: Principe de la mesure de luminance sur le champ de vision.

Source: S.Point

$$L_{\lambda}(\lambda) = E_{\lambda}(\lambda) / \Omega$$

avec  $\Omega = (\pi \cdot \alpha^2) / 4$

# Protocole d'évaluation du risque

- Protocole simplifié (EN 62778)

- $K_{bv} \approx L_b / L_{v\theta} = ( \int_{380 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} L_{\theta}(\lambda) \cdot B_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda ) / (K_m \cdot \int_{380 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} L_{v\theta}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda)$
- Le spectre d'action de la lumière bleue est très proche de la courbe CEI 1931 Z et V est égale à la courbe CEI 1931 Y
- $K_{bv} \approx k \cdot (1-x-y) / y / K_m$

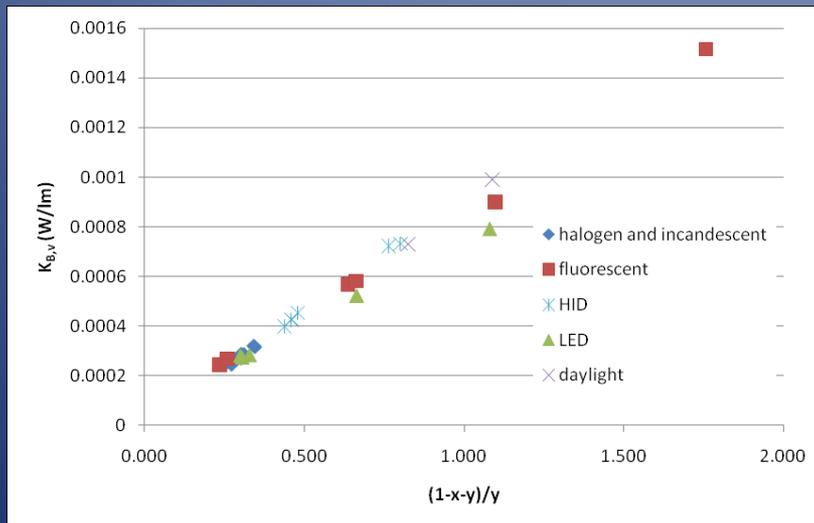


Figure 8: représentation graphique de  $K_{bv}$  selon les coordonnées chromatiques pour les lumières blanches. Source: IEC-TR 62778.

## Relation entre $K_{bv}$ et la chromaticité

$$K_{bv} = \frac{\int_{380 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} L(\lambda) \cdot B_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda}{(K_m \cdot \int_{380 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} L(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda)}$$

Avec  $K_m = 683 \text{ lm/W}$ .

Or le spectre d'action  $B_{\lambda}$  est très proche de la courbe CEI 1931 Z (voir figure) et par définition,  $V(\lambda)$  est égale à la courbe CEI 1931 Y.

Donc  $B_{\lambda}/V \approx k \cdot Z/Y$  et  $Z/Y = (1-x-y)/y$

D'où l'on déduit  $B_{\lambda}/V = k \cdot (1-x-y)/y$

Et  $B_{\lambda} = V \cdot k \cdot (1-x-y)/y$

Ce qui permet d'écrire

$$K_{bv} \approx \frac{\int_{380 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} L(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot k \cdot ((1-x-y)/y) \cdot d\lambda}{(K_m \cdot \int_{380 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} L(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda)}$$

On note alors que l'expression est simplifiable de  $\int_{380 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} L(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$ , ce qui explique pourquoi cette méthode est indépendante du spectre de la source. On obtient:

$$K_{bv} \approx k \cdot (1-x-y)/y / K_m$$

Le  $K_{bv}$  varie bien uniquement en fonction des coordonnées chromatiques de la source à évaluer du point de vue du risque rétinien en lumière bleue.

Attention: pour les LEDs blanches à luminophore, les coordonnées chromatiques peuvent dépendre de la taille du champs de vision.

# Cas des lampes à LEDs

- La norme 60598-1 édition 14 (article 4.24.2):

« Actuellement les seuls types de sources lumineuses pour lesquelles le risque lié à la lumière bleue doit être considéré sont: les types à LED, à iodures métalliques et quelques spécialités tungstène-halogènes »

Pourquoi les LEDs nous préoccupent-elles ?

# Cas des lampes à LEDs

- La technologie de LED blanches à luminophore: de nombreux atouts...
  - Faible consommation électrique, excellente efficacité lumineuse.
  - Facilité de pilotage, meilleure maîtrise des problématiques CEM par rapport aux LFC.
  - Durée de vie supérieure aux lampes fluorescentes.
  - Allumage instantané même à basse température.

# Cas des lampes à LEDs

- ... et des inconvénients:
  - Une luminance élevée
  - Un spectre qui peut être très riche en bleu

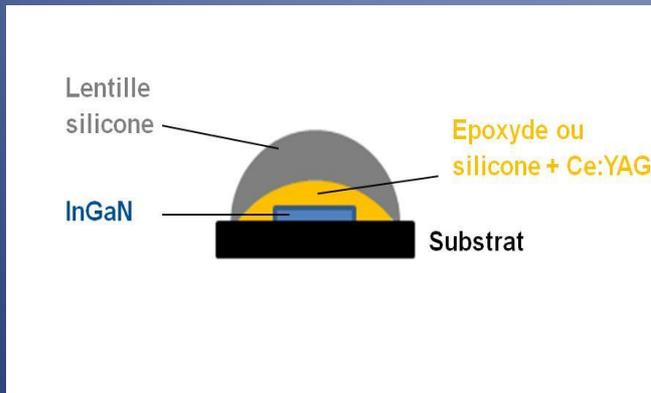


Figure 9: structure d'une WPCLED.

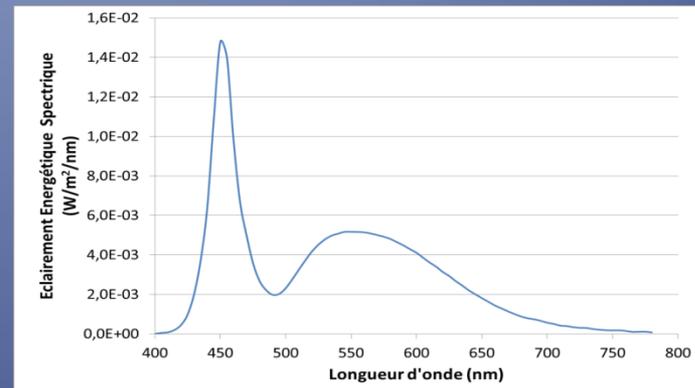


Figure 10: composition spectrale de l'émission d'une WPCLED.

# Cas des lampes à LEDs

- Un recouvrement de la partie bleue par le spectre d'action

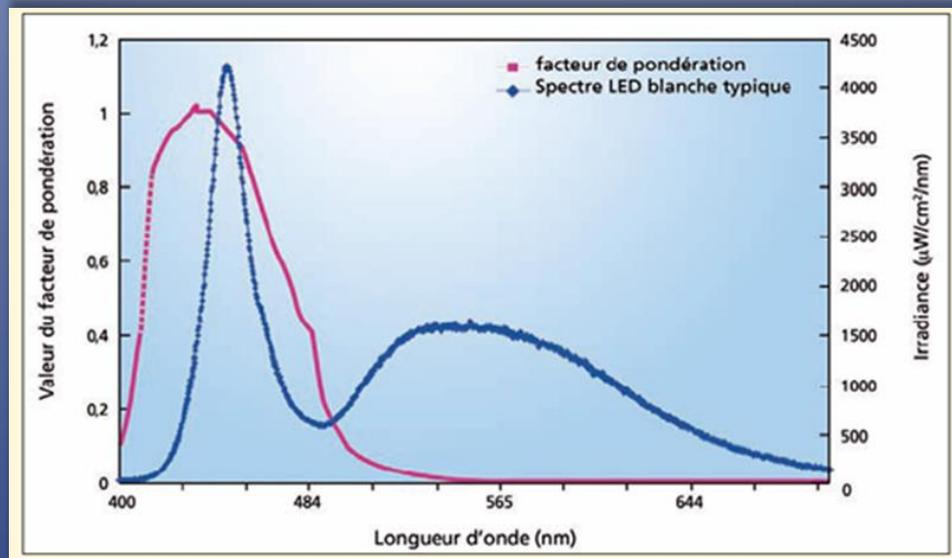


Figure 11: spectre d'action du risque rétinien en lumière bleue et spectre typique d'une LED blanche à luminophore.

Source: S.Point, Photoniques n°45.

# Cas des lampes à LEDs

- Un risque essentiellement lié aux LEDs blanches puissantes de TCP élevées ou LEDs bleues.
- Un risque maîtrisable via:
  - La tcp,
  - le nombre de LEDs,
  - la présence d'un diffuseur,
  - la distance d'exposition.

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 12: Résultats d'analyse de LEDs du commerce vis-à-vis du risque rétinien .

# Populations à risque

- Dans la population générale:
  - Les enfants
  - Les aphakes ou pseudo-aphakes
  - 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.

# Pratiques à risque

- Certaines pseudopratiques lumineuses posent un risque de troubles biologiques



Figure 13: T vs Lb pour les groupes de risque nul & faible à 20 cm.

Figure 14: impact de la distance sur Lb dans le cas d'une source de 100W/m²/sr plus petite que le champ de vision.

# Problématiques

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**».

– Des études récentes démontrent que les lumières blanches, sous de faibles lumières

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**».

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** ».

Jaadane et al, 2015, **de nouveaux niveaux de niveaux de lumière; leurs auteurs**

# Problématiques émergentes

- Les limites des études sur les rats

Les différences anatomiques entre l'œil du rat et l'œil humain doivent être prises en compte.

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

Source: David Sliney, 1984.

Pour une même luminance de source  $L_S$ ,

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

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

Lorsque la pupille du rat dilatée ( $\varnothing 5\text{mm}$ )  
(Dirk Van Norren & Peter Schellekens, 1990), on peut atteindre:

$$E_{r_{rat}} = 165 \cdot E_{r_{humain}}$$

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

# Problématiques émergentes

- Les limites des études sur les rats

-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 faiblement extrapolables à l'Homme.

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

# Problématiques émergentes

- La dégénérescence maculaire liée à l'âge
  - Pas de consensus sur un lien entre exposition à la lumière et DMLA. Certaines études épidémiologiques évoquent un lien entre lumière bleue et DMLA (Taylor et al, 1992), d'autres non (Delcourt et al, 2001).
  - Des processus normaux de vieillissement sont mis en cause dans l'apparition d'une pression oxydante sur la rétine (Xu et al, 2009).
  - Attention aux extrapolations faites à partir d'études sur les rats (qui n'ont pas de macula).

# Problématiques émergentes

- La perturbation de l'horloge biologique
  - Autour de la fovéa, des cellules à melanopsine sensible à la lumière ( mais non impliquées dans la formation des images) participent au cadencement de l'horloge biologique.
  - Sensibilité maximum entre 459 nm et 485 nm (Hanifin et al, 2007).
  - Certaines études montrent qu'une exposition en journée à la lumière bleue favorise l'attention (Pilorz et al., 2016) et la qualité du sommeil (Dauchy et al, 2016). A l'inverse, l'exposition en soirée décale l'arrivée du sommeil.

# Conclusions

- Le risque LED existe mais est bien encadré par les normes de sécurité photobiologique, sauf dans les cas suivants:
  - Non-maîtrise accidentelle des paramètres d'exposition (torches, jouets pour enfants).
  - Exposition professionnelle à des sources de fortes intensités.
  - Mésusage volontaire (type séance de chromothérapie).
- Les résultats d'exposition obtenus sur les rats sont pertinents pour améliorer notre compréhension des mécanismes d'action de la lumière bleue sur les cellules rétiniennes mais ne sont pas transposables à l'humain sans prise en compte des différences biologiques comme la géométrie oculaire. La démonstration que les normes actuelles de sécurité photobiologique ne seraient pas protectrices face aux LEDs n'est pas faite.
- Pas de consensus sur l'effet de la lumière bleue sur la DMLA.
- Il existe un effet non-visuel certain de la lumière bleue entre 460 nm et 485 nm sur le cadencement de l'horloge biologique dont on pourrait tirer profit pour améliorer la qualité de l'attention et du sommeil.
- La prévention doit être améliorée non pas par une diminution des VLE (qui sont bien adaptées et peuvent de toute façon toujours être dépassées) mais par une prise en compte des situations de non-maîtrise de l'exposition, une amélioration de l'information du consommateur et des travailleurs et un contrôle absolument nécessaire des pseudo-thérapies lumineuses..

# Références

- 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 and Schellekens, Vision Res. Vol.30, No.10, pp. 1517-1520, 1990
- Crochet et al, 2006, Temperature distribution in selective laser-tissue interaction. J.Biomed.Opt.11(3),34031.
- Grosche et al, Muller Cell response to Blue Light Injury of the rat retina, Investigative ophthalmology & visual science, Vol 49, N°8, May 2008.
- Shang et al., White Light-Emitting Diodes (LEDs) at Domestic Lighting Levels and Retinal Injury in a Rat Model, Environmental Health perspectives, december 2013.
- Geiger et al., Blue light-induced retinal lesions, intraretinal vascular leakage and edema formation in the all-cone mouse retina, Cell Death and Disease (2015) 6, e1985.
- Chang et al., Increased expression of osteopontin in retinal degeneration induced by blue light-emitting diode exposure in mice, Frontiers in molecular neuroscience, Vol 9, Article 58, July 2016.
- Jaadane et al., Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LEDs), free radical biology and medicine, 84 (2015) 373-384.
- Nakanishi-Ueda et al., Blue LED light exposure develops intracellular reactive oxygen species, lipid peroxidation, and subsequent cellular injuries in cultured bovine retinal pigment epithelial cells, free radical research, October 2013; 47 (10):774-780.
- Shang et al., Light-emitting-diode induced retinal damage and its wavelength dependency in vivo, Int J Ophthalmol, Vol 10, N°2, Feb.18, 2017.
- Krigel et al, Light-induced retinal damage using different light sources, protocols and rat strains reveals LED phototoxicity, Neuroscience.
- Youssef et al, Retinal light toxicity, Eye (2011) 25, 1-14.
- ICNIRP statement on light emitting diodes (LEDs) and laser diodes :implications for hazard assessment .Health Physics 2000 , 78 : 744-752.
- Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED), Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective, Edition scientifique (octobre 2010).*
- CEI *Sécurité photobiologique des lampes et appareils utilisant des lampes*, CEI 62471-1 :2008.
- CEI *Photobiological safety of lamps and lamp systems – Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety*, IEC/TR 62471-2 :2009.
- CEI *Application de la CEI 62471 aux sources de lumières et aux luminaires pour l'évaluation du risque lié à la lumière bleue*, CEI/RT 62778 :2012.

# Références

POINT Sébastien - Proposition d'une méthode d'évaluation du risque rétinien en lumière bleue associé à des luminaires d'éclairage à LEDs par imagerie monospectrale. Radioprotection, avril 2014.

POINT Sébastien- Les technologies nouvelles de l'éclairage: leur impact sur l'environnement et la santé, Revue de l'électricité et de l'électronique, Numéro 4 (2012).

POINT Sébastien- LEDs et sécurité oculaire, Photoniques Numéro 45, (Janvier/Février/Mars 2010).

POINT Sébastien -Exigences de conception des blocs autonomes d'éclairage de sécurité, S.Point, Techniques de l'Ingénieur.

CESARINI JP.- Risques oculaires du rayonnement bleu, Radioprotection Vol.44, EDP sciences, 2009.

David Sliney, Quantifying retinal irradiance levels in light damage experiments , Current Eye Research, Fevrier 1984.

Organisciak et al, Retinal light damage in rats exposed to intermittent light. Comparision with continuous light exposure. Invest Ophthalmol Vis Sci 1989; 30(5):795-805.

Taylor et al, the long term effects of visible light on the eye. Arch.Ophtalmol. 110(1), 99-104.

Delcourt et al, Light exposure and the risk of age-related macular degeneration: the Pathologies Oculaires Liées à L'Âge (POLA) study.Arch.Ophtalmol.119(10),1463-1468.

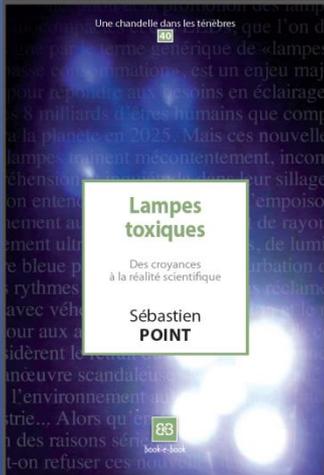
Xu and Forrester, Para-inflammation in the aging retina. Prog.Retin.Eye Res.28(5), 348-368.

Hanifin J, Brainard G. Photoreception for circadian , neuroendocrine, and neurobehavioral regulation. Journal of Physiological Anthropology 2007;2:87-94).

Pilorz V, Tam SK, Hughes S et al, Melanospin Regulates both Sleep-Promoting and Arousal-Promoting Responses to Light. PLoS Biol. 2016; 14:)

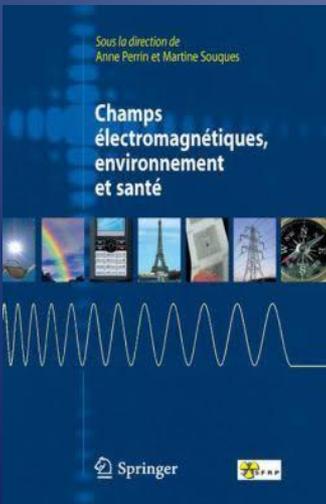
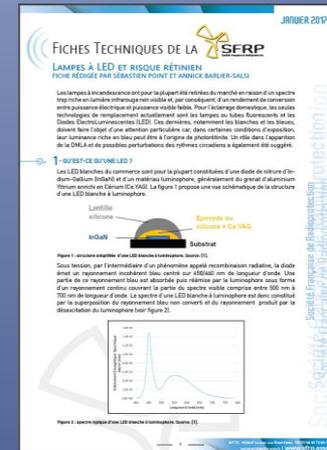
Dauchy et al, Effects of daytime exposure to light from blue-enriched light-emitting diodes on the nighttime melatonin amplitude and circadian regulation of rodent metabolism and physiology, Comp Med. 2016; 66:373-383

# Pour aller plus loin...



POINT Sébastien, lampes toxiques: des croyances à la réalité scientifique, éditions book-e-book, 2016.

POINT Sébastien et BARRIER-SALSI Annick, Lampes à LEDs et risque rétinien, Fiche SFRP



PERRIN (A.) et SOUQUES (M.). – Champs électromagnétiques, environnement et santé, Springer (2010).