



Journée RNI, Limoges, 16 Octobre 2014

Risque rétinien en lumière bleue: exigences normatives pour les appareils d'éclairage à LEDs

Sébastien Point,
Docteur en physique des gaz et des plasmas
Ingénieur en électronique et optique,
Responsable Laboratoire d'Essais.



Plan

- L'éclairage à LEDs
- Le risque rétinien en lumière bleue
- L'évaluation du risque
- Les limites des normes actuelles
- Quelques conseils de radioprotection

L'éclairage à LEDs

- Le marché

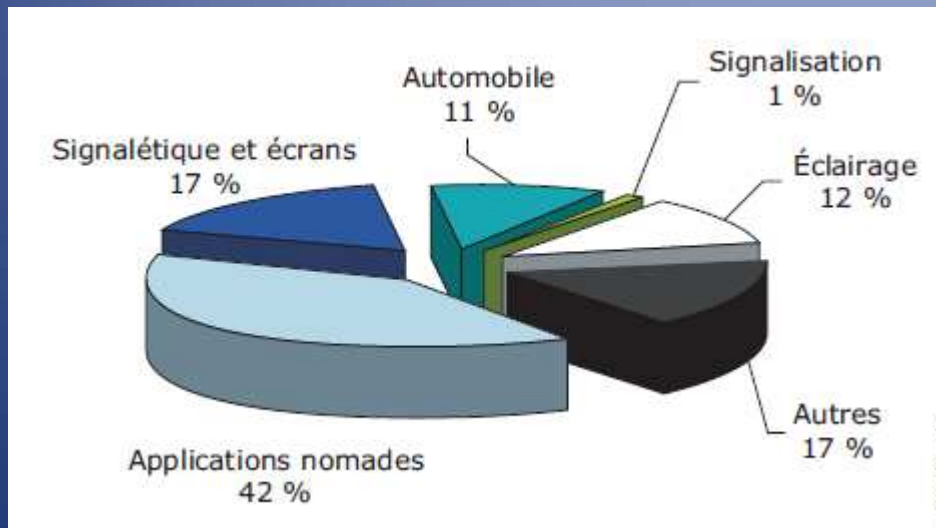
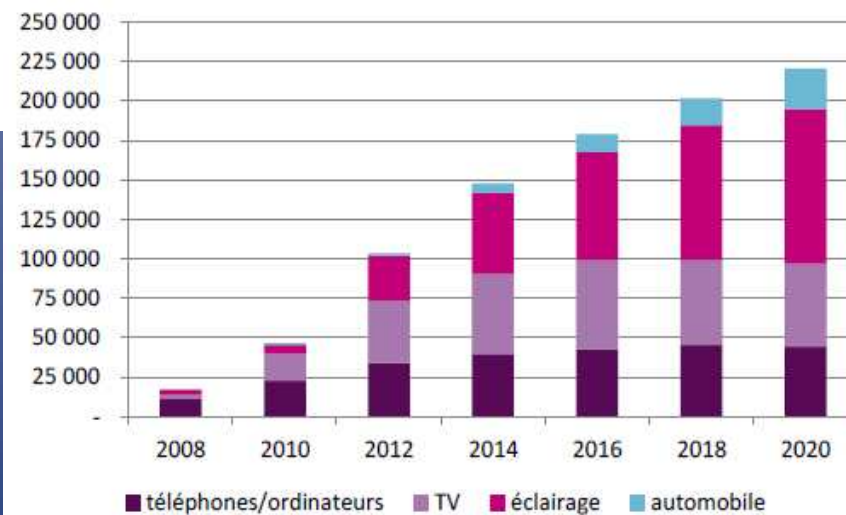


Figure 1: segmentation des revenus du marché des LEDs en 2009. Source: Diodes électroluminescentes LED pour l'éclairage- Panorama et tendances technologiques, G. Zissis et X. De Logivière, Techniques de l'Ingénieur.

Figure 2: croissance du marché des LEDs par application. Source: BAML/Mirova 2014.

Type LEDs vs applications

- Faible puissance <200 mW
→ Applications nomades et signalisation
- Puissance intermédiaire (HB) <1W
→Rétro-éclairage, automobile, éclairage
- Forte puissance (UHB) <5W →Eclairage



L'éclairage à LEDs

- La technologie WPCLED

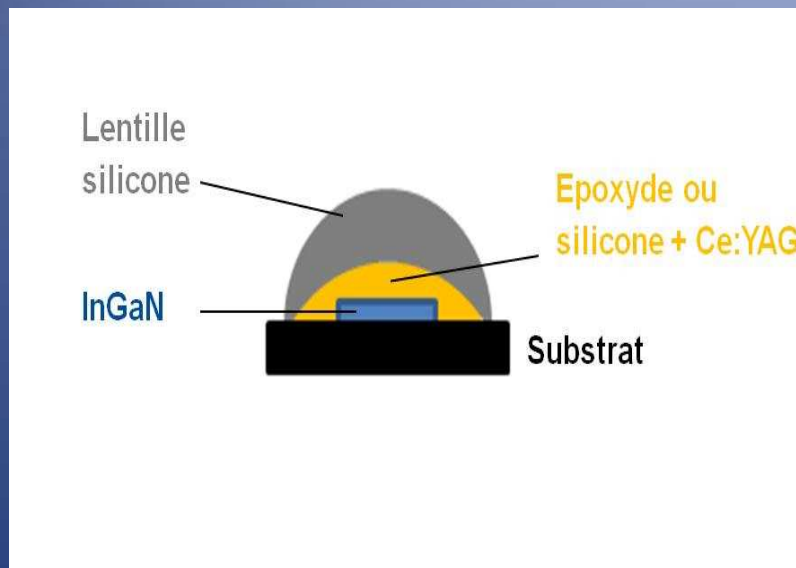


Figure 3: structure d'une WPCLED.

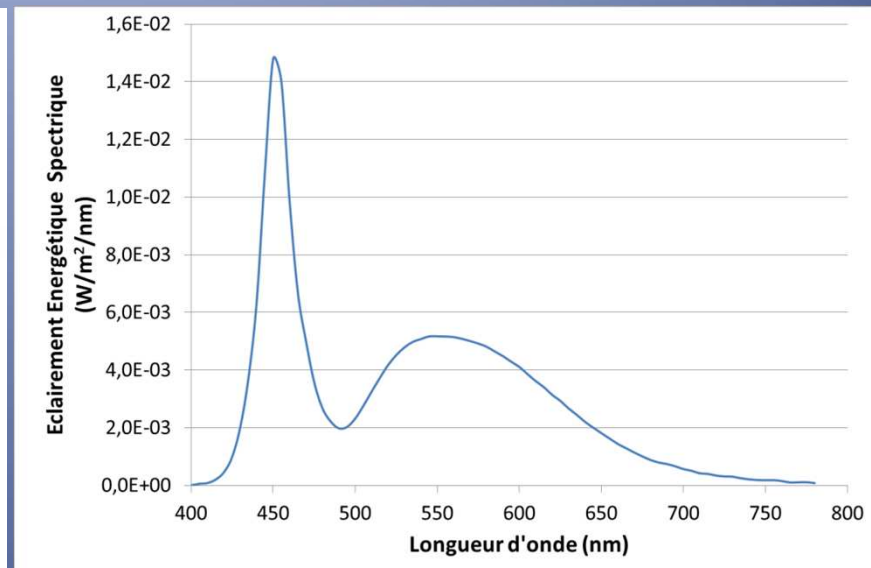
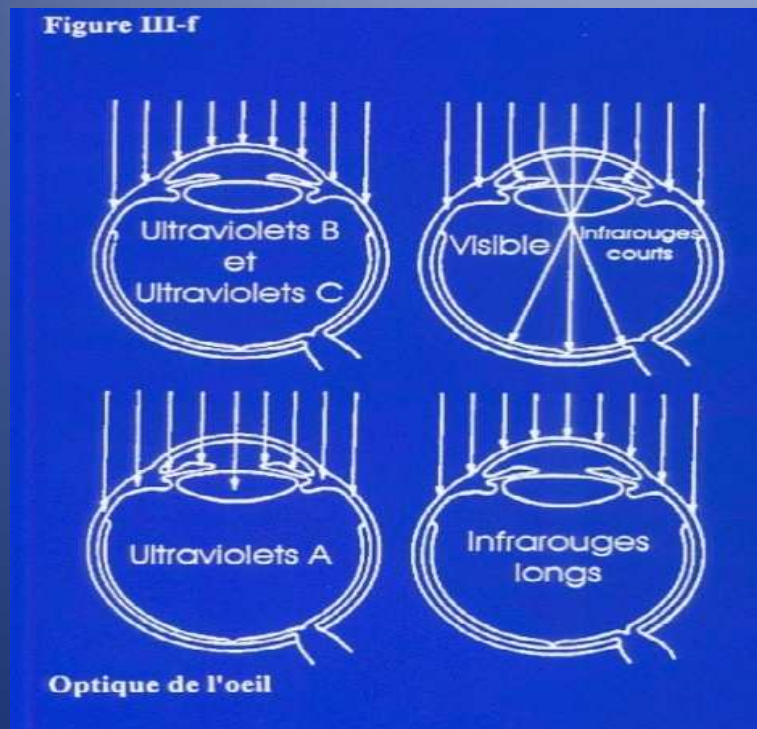


Figure 4: composition spectrale de l'émission d'une WPCLED.

Source: S.Point, proposition d'une méthode d'évaluation du risque rétinien en lumière bleue associé aux luminaires à LEDs par imagerie monospectrale, Radioprotection.

Le risque rétinien en lumière bleue

- Mécanismes biologiques



Au niveau de l'oeil, les rayonnements optiques peuvent avoir des effets biologiques:

UV: Photokératite, cataracte.

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

Visible:

-Brûlure de la rétine.

-Photorétinite également appelée "lésion rétinienne par la lumière bleue".
Mécanisme: absorption par les pigments rétinien jusqu'à la formation de radicaux libres toxiques.

Figure 5: transparence de la cornée et du cristallin aux différents rayonnements optiques.

Source: présentation du Dr JP Césarini "Éclairage, santé et qualité de vie", colloque éclairage Troyes 2010.

Le risque rétinien en lumière bleue

- Spectre d'action de la lumière bleue $B(\lambda)$

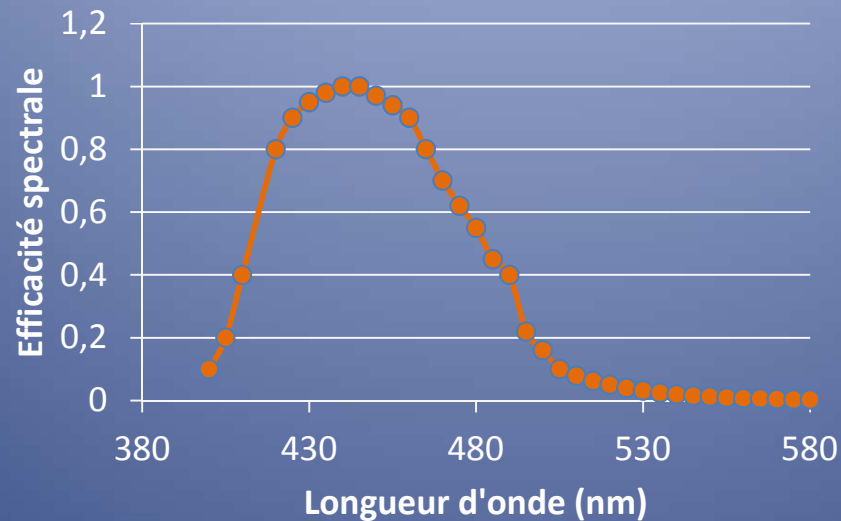


Figure 6: spectre d'action $B(\lambda)$ du risque rétinien en lumière bleue.

Exposition énergétique $H_b < 10^6 \text{ j/m}^2/\text{sr}$.

Le risque rétinien en lumière bleue

- Pourquoi les leds sont elles concernées?

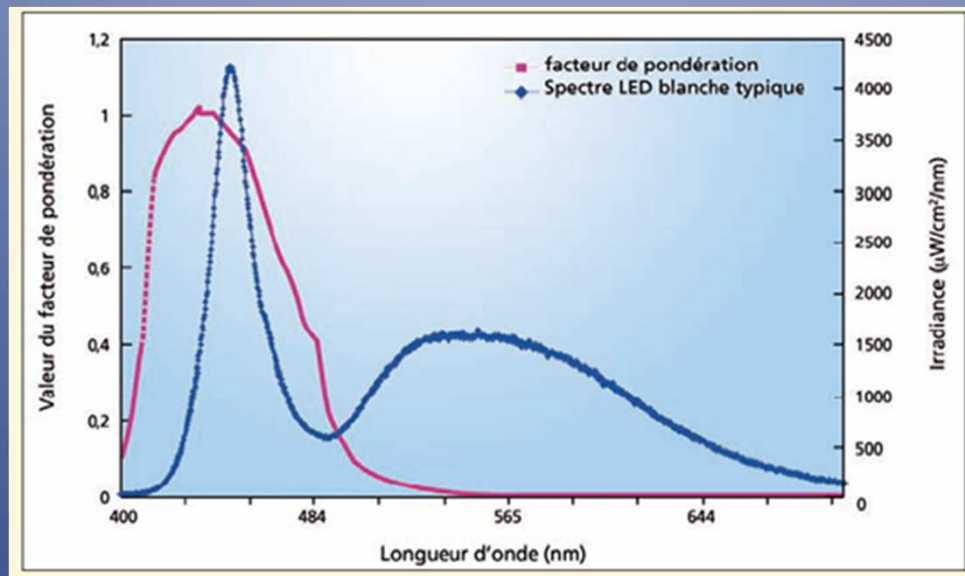
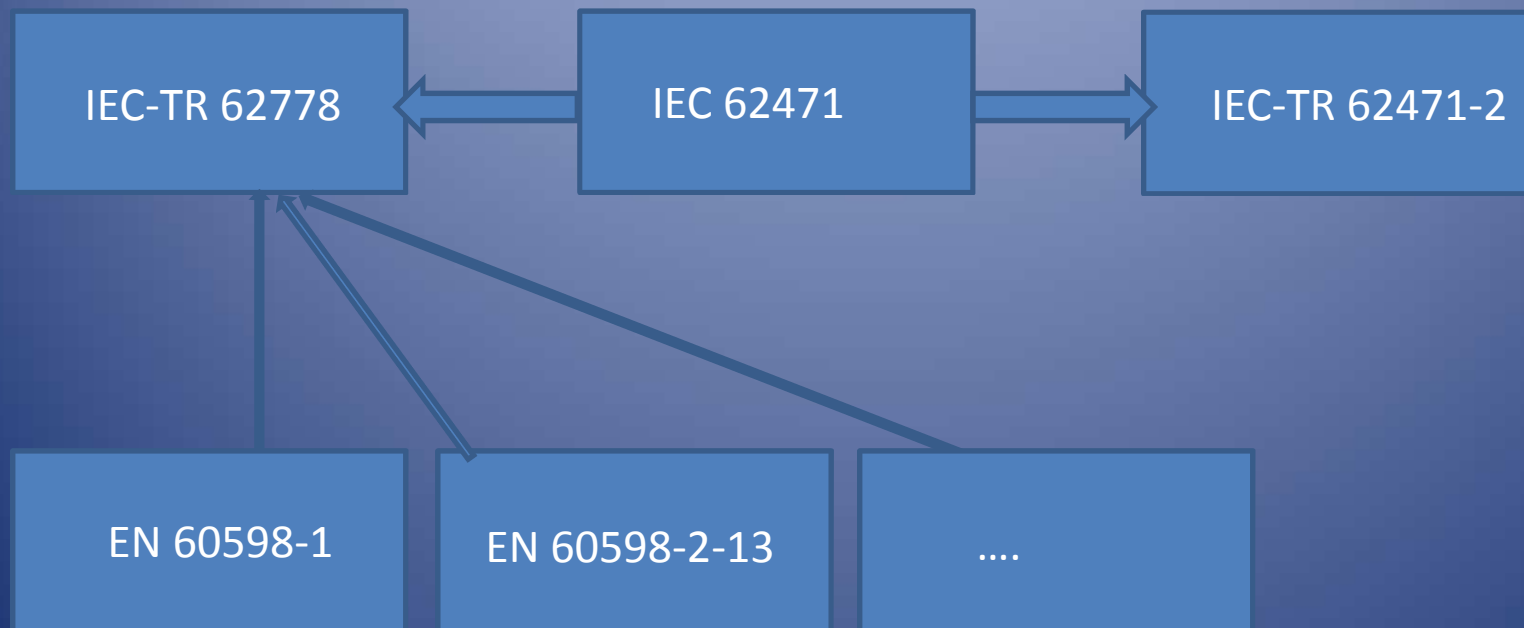


Figure 7: spectre d'action du risque rétinien en lumière bleue et spectre typique d'une LED blanche à luminophore.

Source: LEDs et sécurité oculaire, S.Point, Photoniques n°45.

Le risque rétinien en lumière bleue

- Les normes appliquées à l'éclairage



L'évaluation du risque

- Mesurande

La Luminance efficace en lumière bleue L_b

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

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

L'évaluation du risque

- Groupes de risque

Risque rétinien en lumière bleue	Groupe sans risque	Groupe risque faible	Groupe risque modéré	Groupe risque élevé
Durée max d'exposition t (s)	10 000	100	0.25	<0.25
Lb lim (w.m ⁻² /sr)	<100 (= 10 ⁶ /10000)	<10 000	<4000 000	>4000 000

→ $Lb_{lim} = Hb/t$

Groupe de risque modéré (2)	Groupe de risque élevé (3)
CAUTION Possibly hazardous optical radiation emitted from this product	WARNING Possibly hazardous optical radiation emitted from this product

→ Calcul de E_{thr} nécessaire.

L'évaluation du risque

- Protocole de mesure standard

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

Durée d'exposition t (en seconde)	Angle plan α du champ de vision (en radians)
10 000s	100 mrad
100 s	11 mrad
0,25s	1,7 mrad
<0,25s	1,7 mrad

Risque rétinien en lumière bleue	Groupe sans risque	Groupe risque faible	Groupe risque modéré	Groupe risque élevé
Durée max d'exposition t (s)	10 000	100	0.25	<0.25
Lb lim (w.m ⁻² /sr)	<100 = 10 ⁶ / 10000	<10 000	<4000 000	>4000 000

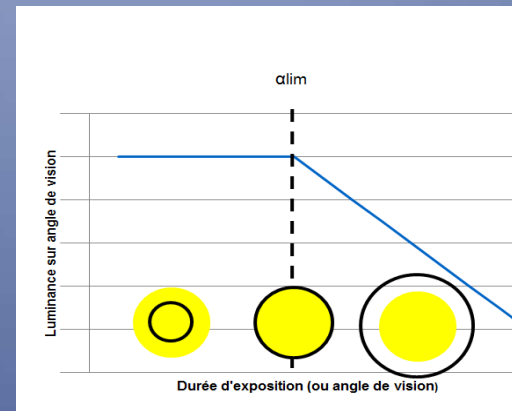


Figure 8: principe de la mesure de luminance sur le champ de vision.

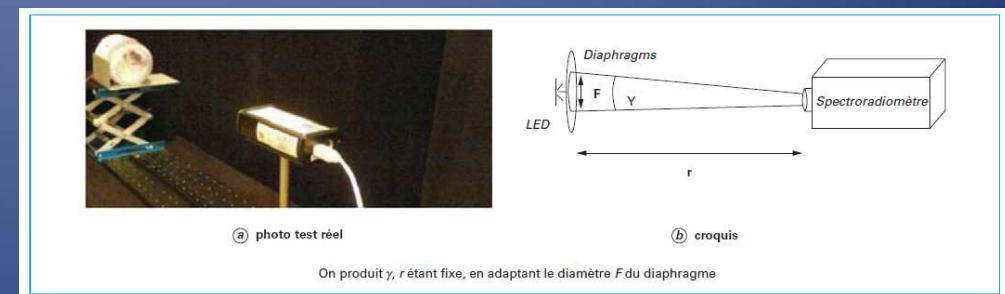


Figure 9: banc d'essai pour la mesure de luminance énergétique sur le champ de vision. Source: Exigences de conception des blocs autonomes d'éclairage de sécurité, S.Point, Techniques de l'Ingénieur.

L'évaluation du risque

- Protocole simplifié

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

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

Or le spectre d'action B_{λ} est très proche de la courbe CEI 1931 Z 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

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

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.

L'évaluation du risque

- Qui doit faire /Quand doit on faire l'évaluation d'un luminaire à LEDs?

Sous-ensemble 0 : la puce LED.

Sous-ensemble 1 : la puce LED dans son boîtier équipé ou non d'une optique de collimation et recouverte de phosphore pour le cas des WPCLEDs.

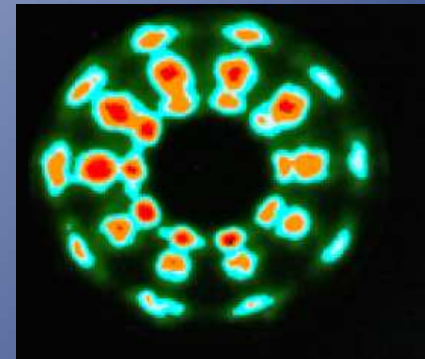
Sous-ensemble 2 : le module LED, constitué d'un circuit imprimé accueillant une ou plusieurs LEDs.

Sous-ensemble 3 : le module LED équipé de fonctions étendues (électronique de commande des LEDs, dispositifs de fixation mécaniques).

Sous-ensemble 4 : le luminaire à LEDs prêt à être mis sur le marché.

Les limites des normes actuelles

- Les difficultés d'ordre pratique:
 - Le cas des sources de luminance non uniforme nécessite le développement de méthodes d'imagerie:
 - Blue light Hazard of LEDs – Comparison of the photobiological risk groups of fifteen lamps assessed using the uniform spectrum assumption and a new **hyperspectral imaging method**, Boulenguez, Carré, Perraudeau, Martinsons.
 - Proposition d'une méthode d'évaluation du risque rétinien en lumière bleue associée aux luminaires à LEDs **par imagerie monospectrale**, S.Point, Radioprotection, 2014.



Les limites des normes actuelles

- Le problème de la distance et de la durée d'exposition pour:
 - Les torches LEDs,
 - Les jouets lumineux à LEDs,
 - Les lampes de chevet;

- La distance à l'observateur / la durée d'exposition n'est pas maîtrisée. Quelle conséquence?

Quelques conseils de radioprotection

- Rester pragmatique

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 ² / sr	100 s à 10 000 s	1 : risque faible	Non exigé
	0,5 W	150 000 W / m ² / 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 ² / sr	3 à 4 s	2 : risque modéré	
Blanc froid	100 lm	1,6.10 ⁷ cd / m ²	VLE ⁵⁶ non atteinte	0 : sans risque	Non exigé
	200 lm	3,2.10 ⁷ cd / m ²	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 ⁷ cd / m ²	VLE non atteinte	0 : sans risque	Non exigé
	200 lm	3,2.10 ⁷ cd / m ²	100 s à 10 000 s	1 : risque faible	
Blanc chaud	100 lm	1,1.10 ⁷ cd / m ²	VLE non atteinte	0 : sans risque	Non exigé
	200 lm	2,2.10 ⁷ cd / m ²			

Figure 11: quelques résultats publiés par l'Anses en 2010.

Source: *Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED)*, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective, Edition scientifique (octobre 2010).

Quelques conseils de radioprotection

- Des EPI adaptés

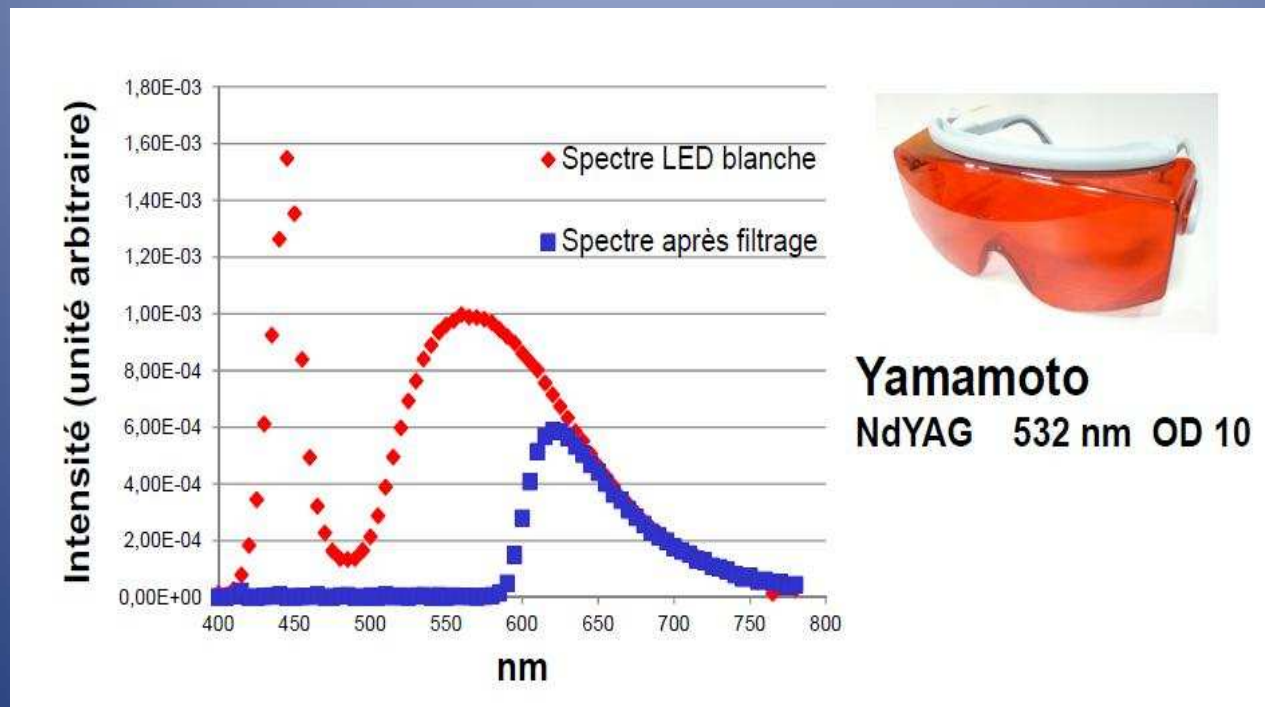


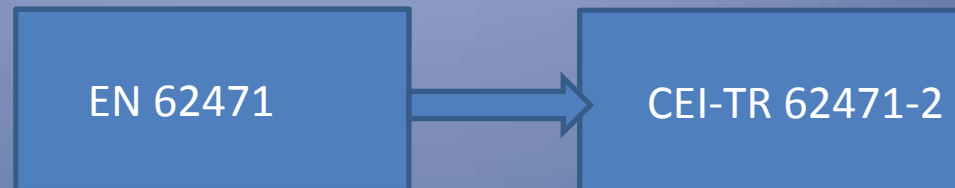
Figure 12: exemple de paire de lunettes utilisable pour la protection contre le rayonnement bleu.

Ressources documentaires

- 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).
- CESARINI JP.- *Risques oculaires du rayonnement bleu*, Radioprotection Vol.44, EDP sciences, 2009.
- ICNIRP statement on light emitting diodes (LEDs) and laser diodes :implications for hazard assesment .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.
- S. Point. Proposition d'une méthode d'évaluation du risque rétinien en lumière bleue associé à des luminaires d'éclairage à LEDs par imagerie monospectrale. Radioprotection.
- Blue light Hazard of LEDs – Comparision of the photobiological risk groups of fifteen lamps assessed using the uniform spectrum assumption and a new hyperspectral imaging method, Boulenguez, Carré, Perraudeau, Martinsons.

Les normes applicables

- Les normes génériques de sécurité photobiologique



EN 62471: « exigences de sécurité photobiologique pour les lampes et les appareils utilisant des lampes »

→ encadre l'exposition aux sources de rayonnements optiques incohérentes à large spectre, depuis l'ultraviolet jusqu'à l'infrarouge en passant par le visible.

CEI-TR 62471-2: « Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety »

→ guide le fabricant dans la compréhension des exigences de sécurité photobiologique

→ propose des mesures de sécurité

→ propose un marquage

Les normes applicables

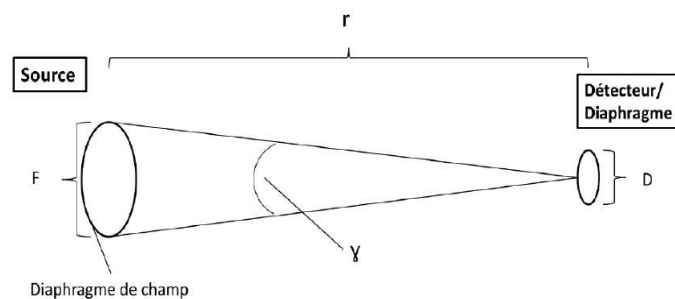
- Les normes appliquées à l'éclairage

CEI/RT 62778 : "Application de la CEI 62471 aux sources de lumière et aux luminaires pour l'évaluation du risque lié à la lumière bleue"

→ Se donne pour objectif de clarifier l'évaluation du risque lié à la lumière bleue de tous les produits d'éclairage dont l'émission est principalement dans le visible.

Projet CEI 60598-1/Ed.8 "Luminaires: exigences générales et essais"

→ "Les luminaires avec LED ou modules LED intégrés doivent être évalués conformément à la CEI/TR 62778"



Relation entre l'éclairement énergétique mesuré, E , et la luminance énergétique de la source L :

$$E = L \cdot \Omega$$

Avec Ω est l'angle solide sous-tendu par l'angle plan γ .

Pour des sources circulaires de faible taille :

$$\Omega = \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} \text{ avec } \gamma = \frac{F}{r}$$