

## LAMPES À LED ET RISQUE RÉTINIEN

FICHE RÉDIGÉE PAR SÉBASTIEN POINT ET ANNICK BARLIER-SALS

Les lampes à incandescence ont pour la plupart été retirées du marché en raison d'un spectre trop riche en lumière infrarouge non visible et, par conséquent, d'un rendement de conversion entre puissance électrique et puissance visible faible. Pour l'éclairage domestique, les seules technologies de remplacement actuellement sont les lampes ou tubes fluorescents et les Diodes ElectroLuminescentes (LED). Ces dernières, notamment les blanches et les bleues, doivent faire l'objet d'une attention particulière car, dans certaines conditions d'exposition, leur luminance riche en bleu peut être à l'origine de photorétinite. Un rôle dans l'apparition de la DMLA et de possibles perturbations des rythmes circadiens a également été suggéré.

### 1- QU'EST-CE QU'UNE LED ?

Les LED blanches du commerce sont pour la plupart constituées d'une diode de nitrure d'Indium-Gallium (InGaN) et d'un matériau luminophore, généralement du grenat d'aluminium Yttrium enrichi en Cérium (Ce:YAG). La figure 1 propose une vue schématique de la structure d'une LED blanche à luminophore.

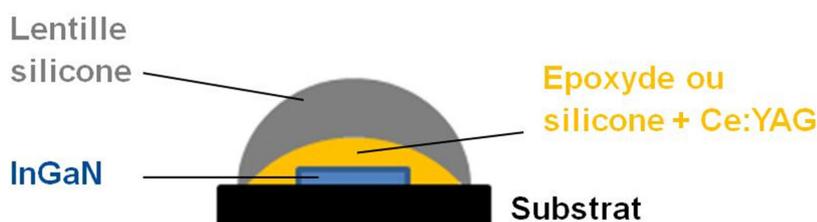


Figure 1 : structure simplifiée d'une LED blanche à luminophore. Source: [1].

Sous tension, par l'intermédiaire d'un phénomène appelé recombinaison radiative, la diode émet un rayonnement incohérent bleu centré sur 450/460 nm de longueur d'onde. Une partie de ce rayonnement bleu est absorbée puis réémise par le luminophore sous forme d'un rayonnement continu couvrant la partie du spectre visible comprise entre 500 nm à 700 nm de longueur d'onde. Le spectre d'une LED blanche à luminophore est donc constitué par la superposition du rayonnement bleu non converti et du rayonnement produit par la désexcitation du luminophore (voir figure 2).

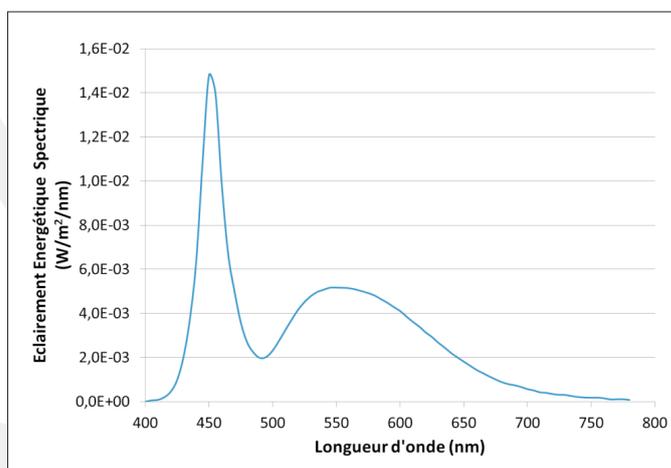


Figure 2 : spectre typique d'une LED blanche à luminophore. Source: [1].

Société Française de Radioprotection

## LAMPES À LED ET RISQUE RÉTINIEN

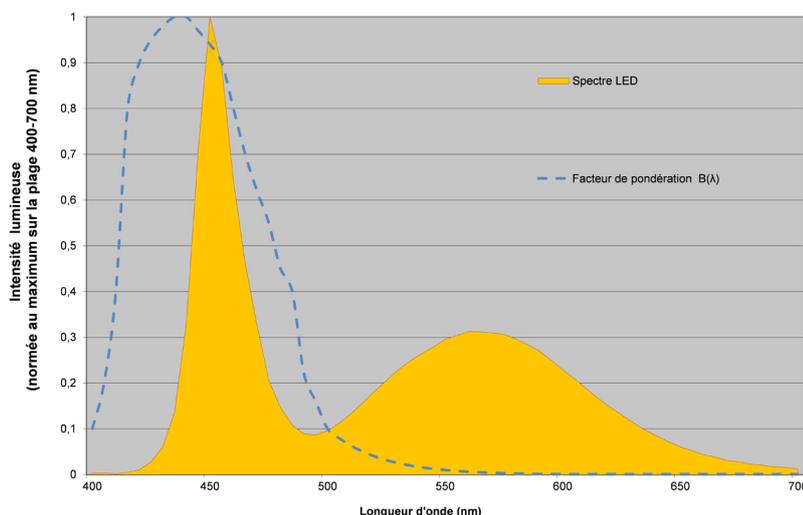
FICHE RÉDIGÉE PAR SÉBASTIEN POINT ET ANNICK BARLIER-SALSI

### 2- LA LUMIÈRE DES LED PEUT-ELLE ÊTRE NOCIVE ?

Les LED blanches à luminophore sont notamment caractérisées par :

- une luminance élevée qui peut les rendre éblouissantes.
- un spectre visible riche en longueurs d'onde courtes (lumière bleue), ce qui est inhérent à leur principe de fonctionnement.

Une forte luminance dominée par des rayonnements lumineux de courte longueur d'onde peut entraîner une surexposition de la rétine et engendrer l'apparition de photorétinite par des mécanismes photochimiques. Or, le spectre d'action de la lumière bleue<sup>1</sup> défini par l'ICNIRP [2] (noté  $B(\lambda)$ ) inclut le pic d'émission d'une LED blanche à luminophore (voir figure 3).



**Figure 3 : spectre d'action de la lumière bleue sur la rétine humaine. Source:[3]**

La surexposition se caractérise par l'apparition d'une tâche aveugle (scotome) dans la zone de la fovea (voir figure 4) où l'énergie lumineuse a été focalisée. La perte de sensibilité peut y être permanente. Cliniquement, on observe un blanchiment à l'endroit de la lésion dans les 48 heures suivant l'exposition. Les mécanismes d'action, encore mal compris, feraient intervenir des espèces réactives de l'oxygène [4].

1-Dans cette fiche, le terme lumière bleue désigne la lumière dont les longueurs d'onde sont couvertes par le spectre d'action de l'ICNIRP.

## LAMPES À LED ET RISQUE RÉTINIEN

FICHE RÉDIGÉE PAR SÉBASTIEN POINT ET ANNICK BARLIER-SALSI

La dose maximale de lumière bleue admissible ( $H_{bmax}$ ), en dessous de laquelle on n'attend pas d'effet biologique, est de  $10^6$  J/(m<sup>2</sup>.sr).

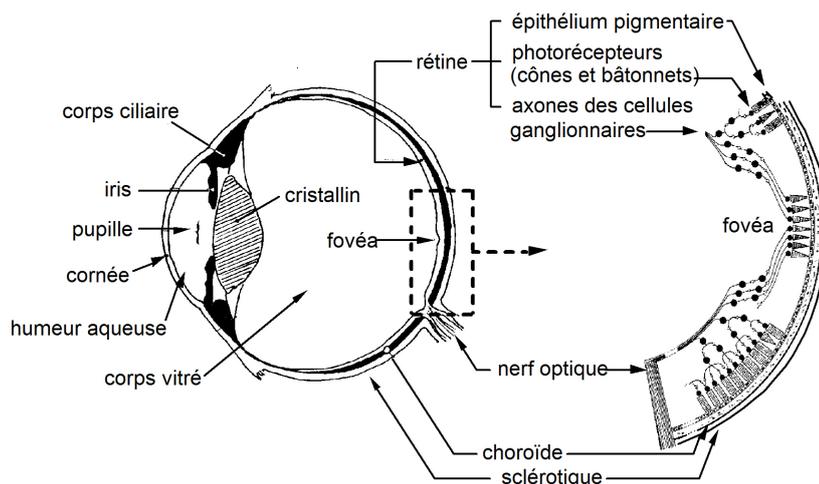


Figure 4 : Représentation schématique de l'oeil. Source : [15]

### 3- QU'EXIGENT LES NORMES DE CONCEPTION ?

Les normes de conception des lampes et des luminaires incluent des exigences de sécurité photobiologique basée sur la norme IEC 62471 [5] ou son rapport technique d'application l'IEC -TR 62778 [6].

Cette norme définit les valeurs limites d'une grandeur mesurable sur le luminaire, appelée luminance efficace en lumière bleue (noté  $L_b$ ), et dont dépend la durée d'exposition journalière maximale  $t$  suivant l'équation (1).

$$t = \frac{H_{bmax}}{L_b} \quad (1)$$

La dangerosité d'une lampe à LED est donc classée suivant la rapidité d'apparition de la sur-exposition qui dépend de son niveau de luminance efficace en lumière bleue (voir tableau 1). Par exemple, exposé à une source LED ayant une  $L_b$  inférieure ou égale à  $100$  W/m<sup>2</sup>/sr, un observateur ne recevra une dose supérieure à  $H_{bMax}$  ( $10^6$  J/(m<sup>2</sup>.sr)) au plus tôt qu'après une durée minimale d'exposition<sup>2</sup> de  $10\ 000$  s, soit  $2h45$  environ. A cette durée d'exposition, la LED en question est classée dans le groupe de risque 0.

2-L'exposition étant ici définie comme une observation directe de la source à une distance de 20 cm.



## LAMPES À LED ET RISQUE RÉTINIEN

FICHE RÉDIGÉE PAR SÉBASTIEN POINT ET ANNICK BARLIER-SALS

Tableau 1: correspondance entre luminance en lumière bleue, durée d'exposition maximale, et groupe de risque.

GROUPE	0	1	2	3
t lim(s)	10 000	100	0.25	0.25
Lb lim(w.m <sup>-2</sup> /sr)	<100	<10 000	<4000 000	>4000 000
Hb (J/(m <sup>2</sup> .sr)	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>

On distingue trois cas de figure :

**Premier cas** : la lampe est classée en risque nul (RG0) ou faible (RG1). Elle n'est pas assujettie à un marquage et aucune contrainte liée au risque rétinien en lumière bleue n'est applicable.

**Deuxième cas** : La lampe est classée dans le groupe de risque modéré (RG2) :

- Pour les systèmes fixes, une distance de sécurité, au-delà de laquelle le risque redescend au niveau RG1, doit être calculée et les instructions de montage de la lampe ou du luminaire doivent imposer l'installation de l'appareil de façon à ce que l'observation prolongée à une distance inférieure à la distance de sécurité soit impossible.
- Pour les lampes ou luminaires portatifs, la consigne de ne pas regarder fixement la source doit être visible sur l'enveloppe du produit.

**Troisième cas** : la lampe est classée en risque élevé (RG3). Ce risque n'est actuellement pas géré par la norme luminaire qui considère que ce type de produit n'est généralement pas disponible sur le marché.

Des discussions ont lieu concernant les Valeurs Limites d'Exposition (VLE) qui ont été initialement définies par l'ICNIRP pour prévenir les lésions rétiniennes potentielles liées à une exposition aiguë. L'état actuel des connaissances ne permet pas d'établir l'existence d'un risque pour la santé lié à une exposition chronique à des valeurs inférieures aux VLE et des voix se sont fait entendre pour pointer le manque de données scientifiques. Les experts de l'Anses notamment se sont inquiétés de ce manque de donnée qui ne permet pas d'écarter la possibilité que « *des expositions répétées et prolongées pourraient induire un risque cumulé potentiellement supérieur à celui évalué par les valeurs limites d'exposition* » [7]. Ainsi, des recherches doivent être encouragées pour approfondir les connaissances des mécanismes d'action de la lumière bleue chez l'homme pour répondre notamment aux questions suivantes :

- Y a-t-il des mécanismes d'apparition de lésions sur la rétine exposée à la lumière bleue à des niveaux faibles mais permanents ? Y a-t-il un effet cumulatif ?
- Y a-t-il un effet aggravant de l'exposition à la lumière bleue sur l'apparition de la DMLA ?
- La généralisation des lampes à spectre riche en bleu peut-elle perturber l'horloge biologique de l'être humain ?

Des études sont en cours [par exemple [8] et [9]] pour améliorer la compréhension des mécanismes et mieux cerner les risques liés à l'exposition chronique.

Société Française de Radioprotection



LAMPES À LED ET RISQUE RÉTINIEN

FICHE RÉDIGÉE PAR SÉBASTIEN POINT ET ANNICK BARLIER-SALSI

4- COMMENT ÉVALUE-T-ON LE GROUPE DE RISQUE ?

L'évaluation de  $L_b$  est formalisée dans le standard CEI 62471-1:2008 par l'équation (2). Elle se fait sur une lampe ou un luminaire seul, et ne prend pas en compte les cas d'expositions multiples.

$$L_b = \int_{300\text{ nm}}^{700\text{ nm}} L(\lambda).B\lambda(\lambda).d\lambda \text{ [W/m}^2\text{/sr]} \quad (2)$$

Le spectre d'action de la lumière bleue  $B\lambda(\lambda)$  est formalisé dans la CEI 62471-1:2008 qui fournit les valeurs d'efficacité spectrale tous les 5 nm.  $L(\lambda)$  est la luminance énergétique spectrique mesurée sur le champ de vision (qui peut être plus grand que la dimension apparente de la source). La réalisation de la mesure de luminance sur le champ de vision traduit la volonté de prendre en compte les mouvements de l'œil, qui tendent à diminuer les valeurs d'éclairement énergétique sur la rétine. Cette disposition diminue le risque de surestimation de l'exposition, en particulier pour les cas d'observations longues au cours desquelles l'œil n'est jamais fixe. Ce champ de vision augmente proportionnellement à la durée d'exposition suivant les relations empiriques du tableau 2.

Plage de durée d'exposition (en seconde)	Angle plat $\gamma$ du champ de vision (en radians)
De 0,25 à 10	$0,011.\sqrt{t/10}$
De 10 à 100	0,011
De 100 à 10 000	$0,0011.\sqrt{t}$
Au-delà de 10 000	0,1

Tableau 2: relations empiriques entre la durée d'exposition et le champ de vision de l'œil humain. Source : CEI 62471.

Le standard CEI 62471-1:2008 préconise, pour les lampes d'usage courant (ou LUC) que le plan de mesure soit placé à une distance de la source où celle-ci fournit 500 Lux, avec un minimum de 200 mm. Seules les lampes pulsées ou les lampes à usage spécifique (médical, industriel (ex : la lithographie) ou esthétique (ex : les cabines de bronzage)) doivent obligatoirement être mesurées à 200 mm. Pourtant, le CEI/RT 62778 recommande une distance de mesure identique de 200 mm pour tous les appareils d'éclairage, considérant que la valeur de 500 Lux est arbitraire et ne représente pas la diversité des niveaux d'éclairement rencontrés. Les normes de conception des luminaires (par exemple la NF EN 60598-1 ou la NF EN 60598-2-13) reprennent ces recommandations qui ne manquent cependant pas de poser des problèmes pratiques : pour une distance de 200 mm entre l'objet et le détecteur, un champ de 11 mrad doit être matérialisé par un diaphragme d'à peine plus de 2 mm. Des méthodes d'imagerie sont développées en laboratoire pour améliorer l'exactitude et la précision des mesures [1] [10][11].

Société Française de Radioprotection

## LAMPES À LED ET RISQUE RÉTINIEN

FICHE RÉDIGÉE PAR SÉBASTIEN POINT ET ANNICK BARLIER-SALSI

La mise en œuvre rigoureuse de la CEI 62471-1:2008 nécessite des compétences et du matériel dont ne disposent pas forcément les fabricants de luminaires souhaitant concevoir leurs produits avec des LED blanches ou bleues. Lorsque la mesure rigoureuse de la luminance énergétique spectrique est impossible, le rapport technique CEI 62771 propose une solution d'évaluation alternative basée sur la mesure de la luminance en lumière blanche sur le champ de vision et de la chromaticité de la source à tester.

Quelle que soit la méthode utilisée, le choix de l'étape de fabrication de la lampe, au cours de laquelle est réalisée cette évaluation, est important. En effet, comme le rappelle le rapport technique CEI-RT 62771, on admet typiquement 4 sous-ensembles pour un luminaire à LED :

- **Sous-ensemble 0** : la diode.
- **Sous-ensemble 1** : la diode dans son boîtier équipée ou non d'une optique de collimation et recouverte de luminophore pour le cas des LED blanches à luminophore.
- **Sous-ensemble 2** : le module LED, constitué d'un circuit imprimé accueillant une ou plusieurs LED.
- **Sous-ensemble 3** : le module LED équipé de fonctions étendues (électronique de commande des LED, dispositifs de fixation mécaniques).
- **Sous-ensemble 4** : le luminaire à LED prêt à être mis sur le marché.

Il est souhaitable que l'évaluation du risque rétinien en lumière bleue se fasse le plus tôt possible. Dans l'idéal, la mesure doit être faite chez le fabricant des sous-ensembles 1 ou 2, afin de produire une donnée technique exploitable par le fabricant de lampes ou luminaires qui peut ainsi élaborer un produit en connaissant le groupe de risque de la LED ; cela permet de prévoir, si besoin, des dispositifs de réduction du risque, comme des diffuseurs optiques par exemple. Il faut garder à l'esprit que le groupe de risque mesuré sur une LED seule, compte tenu de la loi de conservation de la luminance, ne pourra jamais être augmenté par les dispositifs d'optique passive que pourrait ajouter le fabricant de luminaires (réflecteurs ou lentilles). Par conséquent, en affichant comme groupe de risque le groupe déclaré par le fabricant de la LED, le fabricant de luminaires prend le risque de surestimer le groupe mais ne prend pas le risque de le sous-estimer.

## LAMPES À LED ET RISQUE RÉTINIEN

FICHE RÉDIGÉE PAR SÉBASTIEN POINT ET ANNICK BARLIER-SALSI

### 5- QUELLES SONT LES POPULATIONS EXPOSÉES ?

Les lampes à LED sont présentes partout, tant en éclairage intérieur qu'extérieur. On les rencontre dans les locaux d'habitation, les lieux de travail, les espaces commerciaux, l'éclairage public, etc. Aujourd'hui chaque individu est donc susceptible d'être exposé à la lumière émise par les LED. Cependant, toutes les situations d'exposition ne peuvent pas être considérées comme étant « à risque ». Le risque dépend, en effet, des conditions d'exposition : type de LED, groupe de risque [5], vision directe ou diffuse de la lampe, durée d'exposition... En revanche, certaines populations ont une sensibilité accrue à la lumière visible ou sont particulièrement exposées [7][12]. On peut globalement identifier trois groupes de population spécifiquement sensibles :

- Les enfants dont la peau et les yeux, pas encore matures, ne disposent pas de toutes leurs capacités filtrantes.
- Les aphakes (sans cristallin) ou pseudoaphakes (cristallin artificiel), dont l'appareil oculaire ne filtre pas ou peu les rayonnements de courtes longueurs d'onde.
- Les personnes pour lesquelles la lumière bleue peut être un facteur aggravant de leur pathologie, du fait de certaines maladies oculaires ou cutanées. Il en est de même pour celles consommant des substances photo-sensibilisantes.

Par ailleurs, certaines catégories professionnelles sont particulièrement exposées à la lumière bleue, parmi lesquelles on compte notamment :

- Les métiers du spectacle : les projecteurs à LED commencent progressivement à remplacer certains projecteurs traditionnels. Le besoin de niveaux d'éclairement élevés conduit les éclairagistes à mettre en œuvre un grand nombre de projecteurs qui sont le plus souvent disposés dans le champ de vision direct des artistes et des personnels techniques [10].
- Le personnel intervenant sur les installations d'éclairage : lors de la création d'une nouvelle installation ou lors des travaux de maintenance des équipements d'éclairage, les personnes sont généralement contraintes de regarder directement le luminaire pour s'assurer de son bon fonctionnement. Souvent cette vérification s'effectue en l'absence du diffuseur ou de la grille de défilement, à des distances inférieures aux distances normales d'utilisation.
- Le personnel de Recherche & Développement chargé de la conception des appareils à LED : ce type de personnel peut être exposé lors de la mise au point in situ des cartes électroniques à LED ou lors des mesures photométriques ou colorimétriques.
- Le personnel chargé du contrôle qualité des LED : les lampes à usage général ou spécifique (comme les scialytiques pour blocs opératoires) sont constituées par un assemblage de puces LED. L'une des étapes, dans le processus de fabrication de ces lampes, consiste à repérer visuellement les LED défectueuses. Selon le type de fabrication, cette phase de contrôle peut dépasser 1 heure par jour, pendant laquelle l'opérateur a le regard fixé sur les LED.
- Les opérateurs chargés du contrôle qualité en général : secteur de l'électronique, de la maroquinerie, etc. Aujourd'hui, les LED bleues sont souvent utilisées en remplacement des lampes UV de lumière noire. Lors de ce contrôle, les opérateurs exposent les pièces à la lumière des LED bleues, de manière à détecter les défauts par réflexion de la lumière.

## LAMPES À LED ET RISQUE RÉTINIEN

FICHE RÉDIGÉE PAR SÉBASTIEN POINT ET ANNICK BARLIER-SALS

On considérera également comme population à risque les utilisateurs de matériel des thérapies dites « alternatives » basées sur l'observation à courte distance ou l'application sur la peau de lumière artificielle colorée, comme la chromothérapie. L'absence de maîtrise par l'utilisateur de la puissance des lampes utilisées, de la distance aux yeux et de la durée d'exposition constitue un risque potentiel de dépassement de l'exposition maximale admissible [16].

### 6- QUELLES PRÉVENTIONS ?

**Cas général :** une installation d'éclairage intérieur doit répondre à certaines exigences ergonomiques et les LED ne dérogent pas cette règle. La norme NF X35-103 [13], par exemple, définit les principes d'ergonomie visuelle applicables à l'éclairage des lieux de travail. La mise en application de ces principes, notamment en matière de limitation de l'éblouissement et des contrastes, d'homogénéité des éclairages, constitue l'une des premières mesures de prévention en ce qui concerne l'éclairage général des locaux. En effet, la limitation des luminances excessives dans le champ visuel conduit nécessairement à la réduction de l'exposition à la lumière bleue des LED. Par exemple, l'utilisation de diffuseurs ou de luminaires spécifiquement conçus pour les lampes à LED permet de répondre en grande partie à ces exigences. Ensuite, à niveau d'éclairage égal, l'utilisation de plusieurs LED appartenant au groupe de risque nul est préférable à l'utilisation d'une seule LED, plus puissante, mais de groupe de risque plus élevé.

**Cas particuliers :** les personnes particulièrement sensibles, pour qui il est généralement recommandé de limiter l'exposition à la lumière bleue, peuvent par exemple privilégier l'utilisation de LED de température de couleur faible (couleur chaude) [12]. Les situations professionnelles exposant spécifiquement à la lumière émise par les LED, nécessitent le plus souvent la mise en place de moyens de protection contre les rayonnements. Ils sont alors choisis de telle sorte que leurs caractéristiques filtrantes permettent de ramener la dose de lumière bleue ( $H_b$ ) en dessous de la dose maximale admissible ( $H_{b, \text{max}}$ ). La nature du protecteur doit également prendre en compte les contraintes liées au type de travail effectué. Cependant, chaque fois que la situation le permet, des solutions basées sur la protection collective sont à privilégier. Le cas des personnels chargés du contrôle qualité des LED en fabrication en est un exemple. Certains écrans translucides rigides ou souples (type rideaux de soudage) interposés entre les lampes à contrôler et l'opérateur offrent une protection efficace [14] contre la lumière bleue. L'utilisation de protecteurs filtrant spécifiquement la lumière bleue conduit inévitablement à une modification de la couleur apparente de la source, ce qui peut présenter des inconvénients dans certaines applications. Le recours à des filtres gris (neutres), agissant par réflexion du rayonnement et réduisant le rayonnement émis par la LED de manière quasi-égale sur l'ensemble des longueurs d'onde, peut être une solution avantageuse. Dans les autres situations professionnelles, comme la maintenance des installations d'éclairage, le port d'équipement de protection individuelle filtrant la lumière bleue est recommandé. De même, dans les métiers du spectacle, le port de lunettes de protection adaptées, pendant les répétitions pour les artistes et durant les phases de réglage pour le personnel technique, permet de limiter les niveaux d'exposition aux rayonnements.



# FICHES TECHNIQUES DE LA



## LAMPES À LED ET RISQUE RÉTINIEN

FICHE RÉDIGÉE PAR SÉBASTIEN POINT ET ANNICK BARLIER-SALSI

Dans les opérations de contrôle qualité sous LED bleues (remplaçant les tubes UV de lumière noire couramment utilisés), le besoin ou non de protecteurs collectifs ou individuels dépend de l'intensité du rayonnement réfléchi ainsi que du type de réflexion : spéculaire ou diffuse.

Lorsque ces opérations sont réalisées sous cabine éclairées par les LED bleues, ces dernières ne doivent pas être visibles directement. En effet, dans ces applications, seul le rayonnement réfléchi présente un intérêt, il n'est donc pas nécessaire d'exposer inutilement les opérateurs.

De manière générale, chaque fois qu'un processus ne nécessite pas une vision directe de la source de rayonnement, celle-ci doit être masquée de la vue des travailleurs.

Lors des activités de R&D, le port de lunettes à verres teintés neutres pour atténuer globalement la luminance ou filtrants entre 400 et 600 nm de longueur d'onde pour supprimer la composante bleue des sources LED est approprié. Pour le cas de personnels travaillant durablement à proximité de panneaux de LED en essai longue durée, le masquage des sources est à privilégier.

Enfin, les cas de détournement de la technologie LED dans le cadre de thérapies « alternatives » réalisées sans contrôle médical doit inciter à améliorer l'information du public sur le rapport bénéfice / risque de ce type de pratique.

## LAMPES À LED ET RISQUE RÉTINIEN

FICHE RÉDIGÉE PAR SÉBASTIEN POINT ET ANNICK BARLIER-SALSI

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. Point. Proposition d'une méthode d'évaluation du risque rétinien en lumière bleue associé à des luminaires d'éclairage à LED par imagerie monospectrale. Radioprotection 2014, 49 (3), 163-167.
- [2] ICNIRP statement on light emitting diodes (LED) and laser diodes: implications for hazard assessment. Health Physics 2000, 78: 744-752.
- [3] S. Point. Lampes toxiques : des croyances à la réalité scientifique. Editions Book-e-Book.com, 2016.
- [4] J.P. Césarini. Risques oculaires du rayonnement bleu. Radioprotection 2007, 42 (3), 379-392.
- [5] Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes, CEI 62471-1:2008.
- [6] 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.
- [7] Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED), Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective, Edition scientifique (octobre 2010). [www.anses.fr/fr/content/led-diodes-electroluminescentes](http://www.anses.fr/fr/content/led-diodes-electroluminescentes).
- [8] I. Jaadan et al. Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LED), Free Radical Biology and Medicine 2015, 84: 373-384.
- [9] P. Boulenguez et al. RETINALED : une étude in vivo du risque dû à la lumière bleue vers une meilleure compréhension des pathologies rétinienne et une meilleure estimation du risque. Journée SFRP/Section RNI, 16 octobre 2014, Limoges.
- [10] S. Salsi and A. Barlier-Salsi. Exposition aux dispositifs d'éclairage scénique : risque pour la santé des professionnels du spectacle vivant ou enregistré, Radioprotection 2013, 48 (3): 391-410.
- [11] P. Boulenguez et al. Blue light hazard of LED – Comparison of the photo biological risk groups of fifteen lamps assessed using the uniform spectrum assumption and a new hyperspectral imaging method. CIE Centenary Conference «To-ward a new century of light», At Paris, Volume: CIE x038:2013.
- [12] C. Martinsons, G. Zissis. Solid state lighting annex: Potential health issues of solid state lighting - Final report. Energy Efficient End-Use Equipment (4E) Inter-national Energy Agency. [http://ssl.iea4e.org/files/otherfiles/0000/0072/IEA\\_4E\\_SSL\\_Annex\\_Health\\_Aspects\\_Study\\_final.pdf](http://ssl.iea4e.org/files/otherfiles/0000/0072/IEA_4E_SSL_Annex_Health_Aspects_Study_final.pdf).
- [13] AFNOR, Ergonomie – principes d'ergonomie visuelle applicables à l'éclairage des lieux de travail. NF X35-103, 2013.
- [14] P. Marchal. Equipements de protection contre les risques dus aux LED d'éclairage. Actes du colloque « Rayonnements optiques et électromagnétiques au travail », 20-22 octobre 2015, Paris. Hors-série HST à paraître en 2016.
- [15] Perrin A., Souques M. Champs électromagnétiques, environnement et santé. Ed Springer, paris 2010.
- [16] S. Point. Exemple d'utilisation inappropriée des lampes à LED : la chromo-thérapie. Journée SFRP/Section RNI, 04 octobre 2016, Bordeaux.