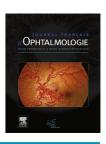


Disponible en ligne sur

ScienceDirect

www.sciencedirect.com





REVUE GÉNÉRALE

Les dangers de la lumière bleue : la vérité!



The dangers of blue light: True story!

G. Renard^{a,*}, J. Leid^b

- a Société française d'ophtalmologie, 17, villa d'Alésia, 75014 Paris, France
- ^b Cabinet privé, 4, place Royale, 64000 Pau, France

Reçu le 5 février 2016 ; accepté le 16 février 2016 Disponible sur Internet le 31 mars 2016

MOTS CLÉS Lumière bleue ; LED ; OLED ;

Rétine

Résumé Les dangers de la lumière bleue font l'objet de nombreuses publications, tant dans le domaine scientifique que pour le grand public. L'arrivée récente et massive de sources lumineuses émettant dans le spectre de la lumière bleue potentiellement toxique (415 à 455 nm) s'observe aussi bien pour l'éclairage intérieur par lampes LED (light emitting diodes) que pour les écrans de téléviseurs, ordinateurs, tablettes et smartphones utilisant les technologies OLED (organic light emitting diode) ou AMOLED (active-matrix organic light emitting diode). Nous rappelons d'abord quelques termes techniques et les principales caractéristiques de la lumière perçue par nos yeux. Nous rapportons ensuite les preuves scientifiques de la toxicité de la lumière bleue pour les yeux avec le risque de développement d'une cataracte ou d'une dégénérescence maculaire. L'analyse des spectres lumineux des différentes sources d'éclairage, depuis la lumière naturelle jusqu'aux lampes LED nous permet de mieux préciser les dangers respectifs de ces sources. Les lampes LED, qu'elles soient utilisées pour l'éclairage intérieur ou dans des écrans, présentent des risques si leur usage est prolongé et à courte distance. Si on peut se protéger de la lumière bleue naturelle par des verres teintés filtrant sur les faces avant et arrière les longueurs d'onde toxiques, il est plus difficile de se protéger des LED d'éclairage intérieur qui ne devraient être utilisées que sous forme de lampes «blanc chaud» à 2700 K. Pour les écrans OLED ou AMOLED, la seule protection repose sur un usage intermittent et de courte durée.

© 2016 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

^{*} Auteur correspondant.

**Adresse e-mail: grenard@sfo.asso.fr (G. Renard).

484 G. Renard, J. Leid

KEYWORDS

Blue light; LED; OLED; Retina

The dangers of the blue light are the object of numerous publications, for both the scientific community and the general public. The new prolific development of light sources emitting potentially toxic blue light (415-455 nm) ranges from LED (Light Emitting Diodes) lamps for interior lighting to television screens, computers, digital tablets and smartphones using OLED (Organic Light Emitting Diode) or AMOLED (Active-Matrix Organic Light Emitting Diode) technology. First we will review some technical terms and the main characteristics of light perceived by the human eye. Then we will discuss scientific proof of the toxicity of blue light to the eye, which may cause cataract or macular degeneration. Analysis of the light spectra of several light sources, from natural light to LED lamps, will allow us to specify even better the dangers related to each light source. LED lamps, whether used as components for interior lighting or screens, are of concern if they are used for extended viewing times and at short distance. While we can protect ourselves from natural blue light by wearing colored glasses which filter out, on both front and back surfaces, the toxic wavelengths, it is more difficult to protect oneself from LED lamps in internal lighting, the use of which should be restricted to "white warmth" lamps (2700 K). As far as OLED or AMOLED screens are concerned, the only effective protection consists of using them occasionally and only for a short period of time. © 2016 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Rappel de quelques termes techniques

Le lumen est l'unité utilisée pour quantifier le flux lumineux, elle exprime la quantité totale de lumière émise par une source lumineuse.

La candela (cd) est l'unité utilisée pour exprimer l'intensité lumineuse, c'est-à-dire la quantité de lumière émise dans une direction donnée.

La luminance exprime la quantité de lumière reçue sur une surface donnée (cd/m²).

Quelques exemples permettent de mieux situer la quantité de lumière à laquelle nos yeux sont exposés:

Neige au soleil:	10 000 cd/m ²
Ciel bleu:	5000 cd/m ²
Téléviseur:	400cd/m^2
Ordinateur:	250 cd/m ²

On peut déjà observer que l'exposition de l'œil humain à des écrans est de 10 à 20 fois inférieure à son exposition dans la vie quotidienne à l'extérieur.

La lumière visible pour l'œil humain est la partie du spectre électromagnétique qui peut pénétrer dans l'œil, atteindre la rétine et être transformée par les cellules visuelles, cônes et bâtonnets, en impulsions électriques transmises au cerveau. Le terme de «spectre» a été utilisé pour la première fois par Isaac Newton en 1671 [1]. Celui-ci avait observé qu'un rayon de lumière blanche du soleil dévié par un prisme donnait tout un «spectrum» de couleurs. De façon très novatrice pour l'époque, Newton en concluait que la lumière blanche est «un mélange hétérogène de rayons différemment réfrangibles».

Il est difficile de définir avec précision le spectre visible car la pénétration de la lumière dans l'œil varie avec l'âge et les individus. Il faut donc se référer à la Commission internationale de l'éclairage (CIE) qui définit une vision de référence entre une longueur d'onde dans le vide de 380 nanomètres (nm) dans le bleu et une longueur d'onde

dans le vide de 780 nm dans le rouge. Le spectre visible occupe la majeure partie de la gamme des longueurs d'onde qui sont transmises par l'atmosphère terrestre.

Principales couleurs du spectre

À chaque partie des longueurs d'onde perçues par l'œil humain est attribuée une couleur de référence. Pour celles qui nous intéressent ici, voici les principales dénominations:

380 nm-449 nm	Violet
449 nm-466 nm	Violet-bleu
466 nm-478 nm	Bleu-violet
478 nm-483 nm	Bleu
483 nm-490 nm	Bleu-vert
490 nm-510 nm	Vert-bleu

Il faut noter que les définitions officielles des couleurs primaires pour l'éclairage (CIE) et pour l'informatique (RGB) sont dans la première partie de ces couleurs, la primaire CIE étant à 435,8 nm et la primaire RGB à 464 nm.

La teinte du blanc (site http://www.energie-environnement.ch)

Dans le domaine de l'éclairage, la température de couleur renseigne sur la teinte générale de la lumière que produit une source lumineuse, depuis les teintes dites « chaudes » (où le rouge domine) comme lorsque les objets sont éclairés par le soleil couchant, jusqu'aux teintes dites « froides » (où le bleu domine) comme sous le soleil intense de midi.

La température de couleur est donnée en degrés Kelvin (K). Par exemple, 2000 K correspond à la lumière rougeâtre d'une flamme de bougie, 2700 K à la lumière jaunâtre d'une

ampoule incandescente classique, 2900 K à la lumière légèrement jaune d'une lampe halogène, 4000 K à un blanc neutre, et 6000 K à la lumière riche en composante bleue qui règne à l'extérieur à midi. Plus la température de couleur s'élève, et plus la proportion de bleu dans la lumière devient importante. Un ciel de midi sous les tropiques en contient beaucoup.

Les lampes d'éclairage fluorescentes et à LED ne sont pas des sources incandescentes mais des sources luminescentes, luminescence gaz pour les lampes fluorescentes et luminescence solide pour les LED. C'est notamment l'excitation d'éléments chimiques contenant du phosphore qui permet à la lampe LED d'émettre une palette d'ondes visibles perçues par notre vision comme de la lumière blanche. En fonction du mélange de phosphores, la teinte de la lampe peut être choisie pour donner toute la gamme de températures de couleur de la lumière, du lever du soleil jusqu'au soleil de midi sous les tropiques. Cette température est indiquée sur l'emballage des lampes (et souvent sur les lampes elles-mêmes), soit en degrés Kelvin, soit en mots:

Warm white (blanc chaud)	2700 K
White (blanc neutre)	3000-4000 K
Cool white (blanc froid)	5000 K
Daylight (lumière du jour)	> 6500 K

Indice de rendu des couleurs (IRC)

La température de couleur et l'IRC sont deux choses différentes bien qu'apparemment liées. L'IRC est exprimé par un chiffre entre 0 et 100, le rendu des couleurs est d'autant meilleur que ce chiffre est élevé.

Codes de couleur

Sur les lampes fluorescentes («néons» et ampoules fluo compactes ou «à économie d'énergie»), la température de couleur peut être indiquée par un code (827, 840, 930...) qui combine la température de couleur et l'IRC. Seuls les deux derniers chiffres concernent la température de couleur. Ainsi, 830 signifie un IRC d'au moins 80 et une température de couleur de 3000 K. Et 927 signifie un IRC d'au moins 90 et une température de couleur de 2700 K.

Notre cerveau veut voir du blanc

Notre cerveau est conçu pour équilibrer automatiquement les couleurs que nous percevons. Si un salon aux murs peints en blanc est éclairé par une ampoule à incandescence classique, nous voyons les murs blancs même s'ils sont nettement jaunes pour un instrument de mesure de la lumière. Cependant notre cerveau est toujours à la recherche d'un éclairage aussi proche que possible de la lumière naturelle. Ainsi, bien que les sources d'éclairage intérieur produisent souvent une lumière à dominante chaude, notre cerveau, grâce au phénomène de constance colorée, rétablit une perception proche de la lumière du jour.

Les risques pour l'œil de la lumière bleue : les preuves scientifiques

La première étude date de 1966 et les travaux de John Marshall qui ont débuté en 1972 [2] sont fondateurs en la matière. Les risques commencent à se préciser dans l'article de W. Dawson publié en 2001 [3]. Les auteurs ont exposé des singes à deux sources émettant dans le bleu, un laser à 458 nm et une LED à 460 nm. Un examen par photographie du fond d'œil, angiographie fluorescéinique et SLO a été réalisé à j2 et j30 après une exposition à des fluences différentes. Il n'y avait que très peu de différences entre les lésions dues au laser et celles dues aux LED. Les lésions apparaissaient pour des irradiations supérieures à 30 j/cm². Les auteurs concluaient à un risque pour la rétine exposée à la lumière de LED émettant dans le bleu.

En 2005 est publié un premier standard sur les LED sous l'égide du symposium IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) sur la sécurité de la fabrication de ces produits [4].

En 2010 l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) publie un rapport sur «Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED) » [5]. Ce rapport très complet ne conclut pas de façon définitive sur la toxicité de la lumière bleue des LED mais introduit une alerte reprise très largement par les médias dont peu ont analysé à fond ce rapport de 310 pages.

Deux articles d'équipes françaises vont renforcer cette suspicion envers les LED.

Le premier publié en 2011 [6] reprend l'essentiel du rapport de l'ANSES en le simplifiant et en l'exposant de façon plus claire. Cet article a été également abondamment commenté.

Le second publié en 2013 [7] porte sur des expériences in vitro sur des cellules de l'épithélium pigmentaire (EP) de porc. Des LED sont utilisées pour simuler la lumière du soleil à différentes longueurs d'onde de 390 à 520 nm. Les longueurs d'onde les plus toxiques pour l'EP sont entre 415 et 455 nm, soit dans le bleu-violet. Cependant les auteurs insistent sur le fait que ces conditions expérimentales ne sont pas directement applicables à l'œil humain et qu'il n'a pas été démontré de façon certaine l'effet de la lumière dans l'apparition de la DMLA.

Enfin un article récent de 2015 montre une altération de la rétine de rats après exposition à la lumière de LED blanches et de LED bleues trouvées dans le commerce. Les conditions expérimentales, l'intensité de l'irradiation et les méthodes d'étude ne permettent pas non plus une conclusion définitive sur la dangerosité des LED du commerce mais c'est une alerte sérieuse à prendre en considération [8].

En conclusion:

- la lumière bleue de longueur d'onde comprise entre 415 et 455 nm est certainement toxique pour la rétine dans la mesure où elle peut l'atteindre. C'est certainement le cas chez l'enfant dont la cornée et le cristallin laissent passer la quasi-totalité du bleu. C'est de moins en moins vrai avec le vieillissement car le cristallin jaunit avec l'âge et ne laisse plus passer le bleu;
- toutes les expériences scientifiques portent sur l'application courte d'une lumière bleue intense.

486 G. Renard, J. Leid

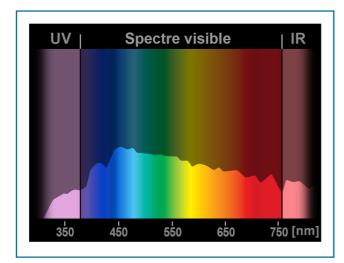


Figure 1. Spectre de la lumière naturelle en milieu de journée.

Aucune publication ne porte sur l'effet éventuellement cumulatif dans le temps de la lumière bleue reçue au cours de la vie;

- la lumière bleue issue de l'éclairage par LED est aussi toxique que celle de la lumière naturelle;
- on peut limiter les effets probables d'un excès de lumière bleue au cours de la vie à un développement prématuré de la cataracte et au risque de DMLA. Tous les autres symptômes rapportés (troubles de la vision, fatigue visuelle, céphalées, troubles du sommeil, etc.) n'ont pas été démontrés.

Les risques pour l'œil de la lumière bleue : quand et comment ?

La lumière bleue accusée de toxicité pour l'œil humain a une longueur d'onde comprise entre 415 et 455 nm ce qui correspond en fait à un bleu-violet ou bleu profond par opposition au bleu turquoise entre 455 et 485 nm.

On trouve cette lumière bleue dans diverses situations: (figures obtenues sur le site http://www.energieenvironnement.ch, services cantonaux de l'énergie et de l'environnement [Suisse]).

La lumière naturelle qui diffère selon le moment de la journée

On voit nettement le spectre visible se décaler du bleu vers le rouge quand la journée s'avance (Fig. 1 et 2). La lumière bleue est présente dans la journée. Il est relativement facile de se protéger de cette lumière naturelle en portant des verres teintés qui diminueront le bleu et privilégieront les couleurs chaudes (verres de soleil marron).

L'éclairage conventionnel

La lampe halogène produit une lumière « chaude » avec très peu d'émission dans le bleu (Fig. 3 et 4). La lampe fluo compacte produit plusieurs pics mais peu dans le bleu.

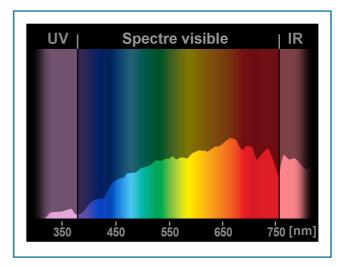


Figure 2. Spectre de la lumière naturelle au coucher du soleil.

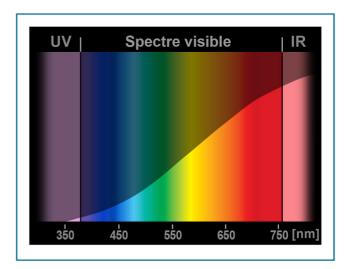


Figure 3. Spectre lumineux d'une lampe halogène.

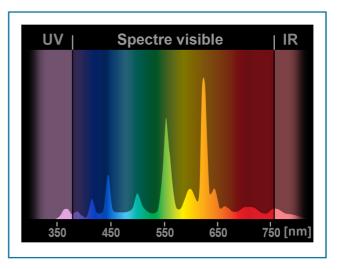


Figure 4. Spectre lumineux d'une lampe fluo compacte.

Les LED

Les LED «lumière du jour», qui ont souvent la faveur des acheteurs ont une émission majoritairement dans le bleu et avec un pic centré sur le bleu le plus toxique (Fig. 5 et 6). Il serait plus prudent d'acheter des LED «blanc chaud» à 2700 K dont le rayonnement dans le bleu est nettement moins important.

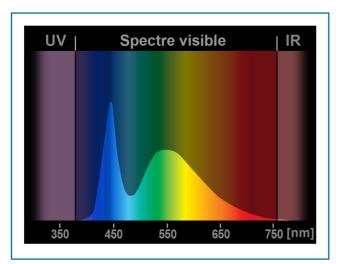


Figure 5. Spectre lumineux d'une LED « lumière du jour » 6000 K.

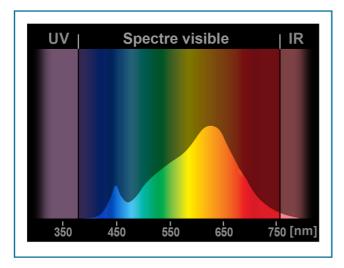


Figure 6. Spectre lumineux d'une LED « blanc chaud » 2700 K.

Lumière bleue et écrans

Dans tous les types d'écrans l'image s'affiche sur une dalle composée de sous-pixels rouges, verts et bleus juxtaposés.

Il y a actuellement 3 types d'écran:

- les écrans classiques LCD;
- les écrans LCD éclairés par LED;
- les écrans OLED.

Le LCD classique, le plus courant pour les téléviseurs et les ordinateurs

La lumière est émise par un tube fluorescent placé derrière l'écran. Des tubes de ce type sont placés de façon soit parallèle, soit sur les côtés. La lumière émise par ces tubes traverse la dalle LCD. Les cellules rouges, vertes et bleues formeront l'image finale perçue par l'utilisateur.

Si une lumière bleue toxique est émise par les tubes, elle n'est pas transmise directement à l'utilisateur du fait de sa traversée de la dalle LCD. Il y a donc très peu de risque car très peu de bleu dans la lumière utilisée.

Les écrans LCD éclairés par LED

Les tubes des écrans LCD sont remplacés par des diodes réparties derrière la dalle LCD. On est donc bien en présence d'une technologie LCD dont seul le rétro-éclairage a été modifié.

Plus on a de diodes, meilleure sera l'homogénéité. Certains écrans LED ont des diodes non pas réparties en matrice derrière les cellules, mais sur les côtés.

Si une lumière bleue toxique est émise par les tubes, elle n'est pas transmise directement à l'utilisateur du fait de sa traversée de la dalle LCD. Il y a donc peu de risque.

Les écrans OLED (organic light emitting diode) ou AMOLED (active-matrix organic light emitting diode)

Il n'y a plus d'éclairage derrière une dalle LCD. Chaque sous-pixel devient une diode soit rouge, soit verte, soit bleue, qui du coup émet sa propre lumière. Ne plus avoir de rétro-éclairage, mais une lumière émise directement par les cellules, réduit considérablement l'épaisseur des écrans, qui ne mesurent plus que quelques millimètres d'épaisseur. Ils sont donc très utilisés pour les tablettes et les smartphones.

Les diodes peuvent émettre une lumière bleue toxique mais la quantité totale de lumière émise est faible par rapport à une diode de forte puissance utilisée pour l'éclairage domestique (10 à 20 fois moins) et le blanc n'est pas formé par une diode spécifique ayant trop de bleu mais par l'allumage simultané des 3 sous-pixels colorés. Cependant la toxicité oculaire est liée à l'illumination rétinienne qui doit prendre en considération la distance d'observation et le temps d'exposition. Observer pendant des heures un écran OLED placé à 30 cm des yeux est potentiellement très dangereux.

En conclusion

La lumière bleue, qui est un élément majeur de la lumière naturelle, est recherchée par notre cerveau et proposée dans les éclairages domestiques par LED. Sa toxicité aiguë pour la rétine est scientifiquement démontrée. Sa toxicité cumulative reste à démontrer, que ce soit pour le développement d'une cataracte ou d'une DMLA. Il existe des moyens technologiques pour réduire la proportion de lumière bleue dans nos éclairages domestiques. Des verres filtrants sur leur face externe et interne permettent efficacement de s'en

488 G. Renard, J. Leid

protéger en lumière naturelle forte. Le risque de lumière bleue qui pourrait être émise par les écrans est faible pour des expositions courtes et à une distance suffisante mais important pour des expositions prolongées à courte distance. Les symptômes attribués à la lumière bleue des écrans sont en fait essentiellement du domaine de la fatigue oculaire par sollicitation excessive de la convergence et de l'accommodation ainsi que de l'aggravation de la sécheresse oculaire par réduction du clignement et du fait de l'environnement, mais l'influence de la lumière bleue interférant avec un film lacrymal instable est une hypothèse en cours d'évaluation et pourrait constituer une raison supplémentaire de s'en protéger à l'avenir.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] "A letter from M. Isaac Newton", philosophical transactions; 1671. p. 3075–87.
- [2] Marshall J, Mellerio J, Palmer DA. Damage to pigeon retinae by moderate illumination from fluorescent lamps. Exp Eye Res 1972;14:164–9.

- [3] Dawson W, Nakanishi-Ueda T, Armstrong D, Reitze D, Samuelson D, Hope M, et al. Local fundus response to blue (LED and laser) and infrared (LED and laser) sources. Exp Eye Res 2001;73:137–47.
- [4] Altkorn, et al. Light emitting diode safety and safety standards. IEEE Symposium on product safety engineering; 2005 www.ieee.org/conferences./conferences/conferencedetails/ index.html.
- [5] ANSES. Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED); 2010 [Disponible sur le site www.anses.fr].
- [6] Behar-Cohen F, Martinsons C, Viénot F, Zissis G, Barlier-Salsi A, Cesarini JP, et al. Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? Prog Retin Eye Res 2011;30:239–57, http://dx.doi.org/10.1016/j.preteyeres.2011.04.002 [Epub 2011 May 14].
- [7] Arnault E, Barrau C, Nanteau C, Gondouin P, Bigot K, Viénot F, et al. Phototoxic action spectrum on a retinal pigment epithelium model of age-related macular degeneration exposed to sunlight normalized conditions. PLoS One 2013;8:e71398, http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0071398 [eCollection 2013].
- [8] Jaadane I, Boulenguez P, Chahory S, Carré S, Savoldelli M, Jonet L, et al. Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LEDs). Free Radic Biol Med 2015;84:373—84, http://dx.doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.03.034 [Epub 2015 Apr 8].