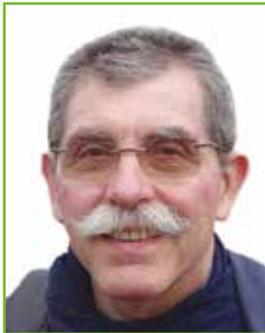


Revue générale

L'enfant et l'exposition à la lumière bleue par le biais des écrans d'ordinateurs, tablettes et jeux

RÉSUMÉ : Les habitudes de vie actuelles entraînent, particulièrement chez les enfants, une surexposition à la lumière bleue en raison des activités extérieures, de l'arrivée en masse des éclairages par lampes à LED et de l'usage exponentiel des écrans, notamment ceux des smartphones. Il nous a paru important dans ce contexte d'étudier les différentes caractéristiques des sources de lumière bleue, en particulier celles des écrans, afin de rationaliser les craintes qui se rattachent à leur usage dans le but de proposer des actes de prévention dont nous avons examiné les moyens actuels.

Nous insistons enfin sur la dualité de la lumière bleue qui doit être bien appréhendée afin d'en limiter les risques tout en préservant les effets favorables. Nous pensons qu'il est ainsi nécessaire de proposer aux enfants une prise de conscience devant aboutir à une attitude raisonnée et différenciée dans l'usage des sources de lumière bleue auxquelles ils seront de plus en plus confrontés tout au long de leur vie.



J. LEID
Ophtalmologie, PAU.

La lumière bleue n'intéressait pas grand monde il y a seulement quelques années. Elle se trouve depuis peu propulsée au-devant de la scène médiatique et pas seulement dans le milieu de l'ophtalmologie. Cette notoriété subite est directement liée au spectre (si l'on peut dire !) du danger qu'elle ferait courir à notre système visuel, ce d'autant que les sources de ces lumières tendent à envahir notre quotidien, particulièrement deux d'entre elles qui montent rapidement en puissance, les lumières à LED et certains écrans qui viennent aujourd'hui s'ajouter à la lumière solaire dont il ne faut pas perdre de vue qu'elle reste de très loin le premier pourvoyeur de lumière bleue.

Les enfants, pour des raisons anatomiques, sont particulièrement vulnérables devant ces sources de faible longueur d'onde et ce sont eux qui sont parmi les utilisateurs les plus assidus des différents écrans qui nous entourent.

L'utilisation de plus en plus fréquente des ordinateurs personnels depuis les années 80 sans que l'on constate clairement une relation entre celle-ci et l'augmentation de fréquence de la DMLA fait dire hâtivement à certains que les écrans ont ainsi déjà prouvé leur innocuité.

Le but de cet article est de tenter de rationaliser la crainte émergente qui s'attache à ces écrans par une meilleure connaissance des conditions d'exposition à la lumière bleue liée à ces dispositifs et ainsi d'individualiser les actions préventives souhaitables tout particulièrement pour les populations les plus jeunes.

Pourquoi les enfants sont-ils physiologiquement les plus à risque ?

Les deux particularités de l'enfant vis-à-vis de ces risques potentiels de la lumière bleue sont d'une part leur longue espérance de vie qui laisse le champ libre à

I Revues générales

une confrontation au très long cours à cette lumière à forte énergie et d'autre part la quasi absence de filtre anatomique naturel qui augmente considérablement les risques rétiens pour une exposition donnée par rapport à ceux de l'adulte, physiologiquement mieux protégé.

Les enfants, tout particulièrement avant l'âge de 8 à 10 ans, doivent être considérés à risque dans la mesure où leur cristallin ne filtre pratiquement pas les courtes longueurs d'onde visibles (ainsi d'ailleurs que les ultra-violets). Ce n'est qu'à partir de 20 à 25 ans que les UV sont totalement filtrés mais il faut attendre la cinquantaine pour que le jaunissement du cristallin coupe également la lumière bleue.

La transmittance du cristallin est le pourcentage de lumière transmise par rapport à la lumière reçue. Les courbes parlent d'elles-mêmes (**fig. 1**).

Pour être juste, il convient toutefois de rappeler que la macula de l'enfant est cependant partiellement protégée par une importante quantité de pigments jaunes qui absorbent les courtes radiations. Ces pigments vont peu à peu s'amenuiser avec l'âge.

Il y a lumière bleue et lumière bleue !

Il y a lumière bleue et lumière bleue de même qu'il y a écran et écran. Voyons ce qu'il en est afin d'éviter les amalgames.

La lumière bleue visible s'étend depuis la région invisible du spectre du côté des ultraviolets jusqu'à la lumière verte soit environ de 400 nm à 500 nm.

S'il existe un grand nombre de publications qui montrent clairement le rôle délétère des lumières visibles de courtes longueurs d'onde *in vitro* sur la rétine, il existe encore peu d'articles qui abordent ce sujet *in vivo*. Ce déficit d'arguments scientifiques irréfutables tient essentiellement à deux facteurs : d'une part la véritable prise

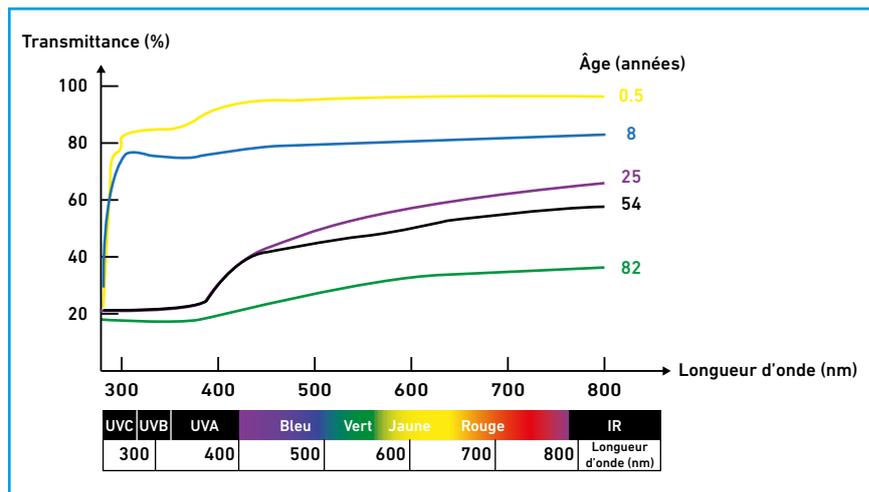


Fig. 1 : Transmittance du cristallin en fonction de l'âge

de conscience de ce risque est très récente, d'autre part les signes cliniques visibles liés à la dangerosité de la lumière bleue dans la vraie vie n'apparaissent qu'après une très longue période d'exposition qui se mesure en années ce qui suppose la mise en place d'études au très long cours pour lesquelles il est toujours difficile de trouver des volontaires. Les difficultés méthodologiques de ce type d'études découragent d'emblée beaucoup de chercheurs. Prenons un exemple. Nous avons tous l'intuition que l'exposition prolongée à la lumière solaire est un facteur important de risque de DMLA à long terme, ne serait-ce que parce que nous savons formellement que cette irradiation provoque *in vitro* de graves dommages rétiens. Cependant plusieurs études [1-3] n'ont pas clairement apporté la preuve formelle de ce risque. Malgré cela, même les plus éminents spécialistes de la DMLA ne se risqueraient pas à affirmer publiquement que la lumière solaire n'est nullement en cause dans la DMLA. Tout au plus laisse-t-on pudiquement la question en suspens à l'appréciation de l'auditeur. De la même façon que nous avons tous commencé à utiliser les IVT d'angiogéniques avant même la publication de leurs AMM par respect pour nos patients car le temps leur était compté, c'est maintenant, sans attendre les preuves formelles qui arriveront plus tard, que nous devons proposer

des mesures préventives contre les risques de la lumière bleue, même si le sacrosaint principe de la médecine basée sur les faits (EBM) doit en pâtir un peu. C'est d'ailleurs ce que nous faisons heureusement déjà par l'usage de dispositifs optiques implantables ou externes largement répandus (en 2015, par exemple, 39 % des implants posés en France dans la cataracte sont jaunes ! [4]). Reste à mieux adapter ces filtres aux véritables besoins.

Le danger de la lumière bleue tient d'une part à la grande énergie qu'elle transporte et d'autre part à son action spécifique dans les processus de dégradation des photorécepteurs.

La question de l'énergie est le facteur le plus directement accessible (on parle en effet aujourd'hui de lumière HEV pour Haute Énergie Visible).

$W = hv$ et tout est dit ! L'énergie portée par les photons est directement proportionnelle à la fréquence (donc l'inverse de la longueur d'onde). Un photon "bleu" de 400 nm est porteur d'une énergie double de celle d'un photon "rouge" de 800 nm. Ce qui compte pour nous au plan sensoriel, en fait ce qui nous fait dire qu'il y a beaucoup ou peu de lumière, c'est l'éclairement rétinien (qui s'exprime en Trolands). Il dépend, pour rester simple,

I Revues générales

de l'intensité lumineuse de la source, de la distance entre la source et la rétine et du diamètre pupillaire.

Une fois cette lumière arrivée sur la rétine, c'est son efficacité lumineuse qui importe. Or celle-ci est grande vers le milieu du spectre visible (jaune) et faible à ses extrémités (rouge et bleu). C'est la courbe d'efficacité lumineuse relative bien connue des ophtalmologistes, peut-être moins du grand public... (**fig. 2**). Voilà pourquoi les "fabricants" de lumière bleue sont obligés de fournir des intensités lumineuses très élevées pour que leur lumière soit bien "visible".

Pour la **toxicité**, c'est en dernier ressort l'exposition lumineuse qui est déterminante c'est-à-dire l'éclairage multiplié par la durée d'exposition.

Nous voyons maintenant clairement où est le danger : ce sont les sources lumineuses rapprochées, de grande intensité, dont le spectre est chargé en courtes longueurs d'onde et qui sont regardées longuement : exactement ce qui se passe avec certains écrans !

L'énergie transportée par la lumière bleue ne suffit cependant pas à elle seule à en expliquer la toxicité.

Il faut pour cela se référer aux multiples travaux qui ont montré *in vitro* comment

cette lumière peut accélérer la destruction des photorécepteurs.

L'accumulation de lipofuscine dans l'épithélium pigmentaire qui dérive du matériel de phagocytose des segments externes des photorécepteurs est un facteur déterminant dans la genèse de la DMLA ; il est essentiellement lié à l'âge. Toxique par elle-même, la lipofuscine contribue au stress oxydatif et sensibilise les cellules de l'épithélium pigmentaire à la lumière bleue [5].

La lipofuscine possède en effet un composant photosensible l'A2E qui est spécifiquement excité par les radiations de lumière bleue de 440 nm provoquant la dégénérescence des cellules de l'épithélium pigmentaire et par voie de conséquence l'apoptose des photorécepteurs.

Une étude récente montre que la dégénérescence survient préférentiellement pour les longueurs d'onde situées entre 415 nm et 455 nm [6].

Il est donc clair que la lumière bleue de longueur d'onde inférieure à 450 nm sera particulièrement dangereuse pour la rétine humaine.

Si cela est vrai *in vitro*, peu d'études *in vivo*, nous l'avons vu permettent cependant de le prouver. La voie avait été ouverte par la "*Chesapeake Bay Watermen Study*" qui a montré dès 1992

que l'exposition prolongée pendant de nombreuses années à la lumière visible et particulièrement au bleu pouvait être corrélée au développement de formes tardives de DMLA [1]. Quelques autres études ont suivi sans résultat véritablement probant (*Beaver Dam Eye Study* [2], *Etude Eureye* [7], Fletcher [8]).

Cependant, un rapport de l'INSERM de 2015 révélé au grand public en janvier 2017 [9, 10] a été largement relayé par les médias du fait de son caractère inquiétant car bien compréhensible par tous. Des rats éclairés par des lampes à LED avec une intensité lumineuse de 500 lux que l'on pourrait qualifier d'"ordinaire", telle qu'on la rencontre dans nos habitations, développent 5 fois plus rapidement des lésions rétiniennees qu'avec un éclairage par lampes fluorescentes. Cela frappe les esprits, même s'il ne s'agit que de rats !

Dans ces conditions, s'il est raisonnable aujourd'hui, ne serait-ce qu'en vertu du principe de précaution, de s'inquiéter du risque maculaire potentiel de la lumière bleue au long cours, nous ne savons toujours pas évaluer l'ampleur de ce risque en fonction du type d'exposition (lumière solaire, lampes LED, écrans) et de la manière dont nous sommes exposés.

Pour les lampes à LED notamment, l'association française de l'éclairage (AFE) se dit consciente du problème : "En France, les LED ne représentent aujourd'hui qu'un tiers environ du marché, contre 80 à 90 % au Canada, par exemple" explique son délégué général Alain Azaïs. "L'absence de réglementation claire n'est pas rassurante pour les consommateurs" (*Figaro santé*, Tristan Vey, 2015).

Le rapport de l'ANSES d'octobre 2010 sur les *Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED)* [11] a clairement posé les jalons des mesures préventives nécessaires. Il insiste notamment sur la nécessité d'une information satisfaisante des consommateurs (et cela vaut autant

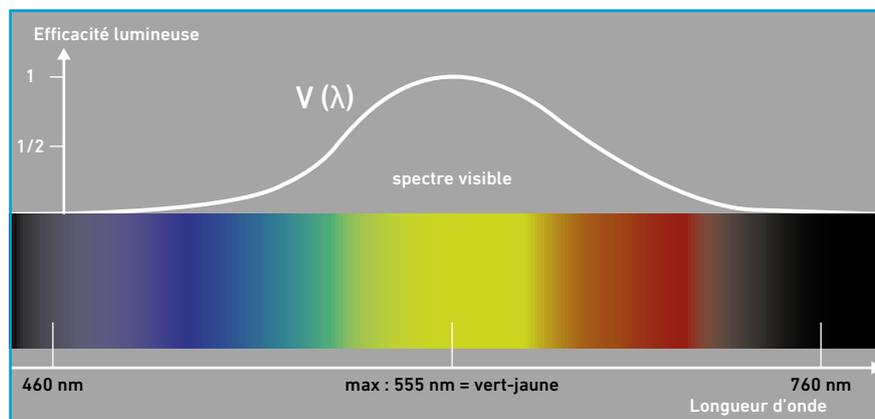


Fig. 2 : Courbe d'efficacité lumineuse relative. Elle est très faible dans le bleu.

pour les LED que pour les écrans). À ce jour, ces recommandations n'ont pas été suivies d'effet. Les industriels estiment en effet que leurs produits sont parfaitement conformes aux normes édictées en la matière et qu'il n'y a donc pas de danger à leur distribution (notamment la directive 2006/25/CE du parlement européen et la norme NF EN 62 471 traitant de la sécurité photobiologique des lampes [12]). C'est un point de vue légal indiscutable mais hélas médicalement irréaliste et dangereux. En effet, les normes en vigueur s'appliquent aux anciennes sources d'éclairage alors que les LED provoquent des lésions bien différentes de celles que nous connaissons antérieurement. Leur toxicité échappe donc totalement aux alertes règlementaires du fait même de la non pertinence des normes devant les risques encourus. Pour schématiser, les normes sont basées sur l'observation de lésions visibles de blanchiment de la rétine par œdème alors que l'on sait que des lésions non directement visibles peuvent être très dangereuses en liaison avec des expositions répétées et prolongées, pouvant induire un risque cumulé potentiellement supérieur à celui évalué par les valeurs limites d'exposition (VLE) et sous la dépendance directe des lumières de courte longueur d'onde (travaux de Ham in Wolbarsht, 1989) [13, 14].

Il est urgent pour la santé publique de modifier ces normes pour les adapter aux vrais dangers rétinien des lampes

à LED. Ce n'est qu'à ce prix que les pouvoirs publics pourront imposer d'autres standards de qualité pour les écrans et les lampes à LED, préservant la santé visuelle des utilisateurs.

Il n'y a cependant pas que du mauvais dans la lumière bleue.

S'il s'avère que la portion nocive de la lumière bleue se situe entre 415 et 455 nm (bleu-violet), il ne faut pas oublier que la partie bleu-turquoise du spectre entre 465 et 490 nm est essentielle pour le maintien des rythmes circadiens qui sont indispensables au bon fonctionnement de l'organisme (cycle éveil-sommeil, niveau de vigilance et de fatigue, régulation de l'humeur mais aussi thermorégulation, régulation hormonale (cortisol, insuline), etc.). Le pic de sensibilité des cellules ganglionnaires à mélanopsine se situe autour de 480 nm (Provencio [15], Brainard [16]). La mélanopsine synchronise l'horloge circadienne en prenant part au contrôle de la sécrétion rythmique de la mélatonine par l'épiphyse.

La production de mélatonine est inhibée par la lumière bleue. Une étude a montré que, chez des adolescents utilisant une tablette dans l'obscurité pendant 2 heures, le taux de mélatonine était réduit de 22 % ce qui correspond à un niveau diurne [17]. On comprend bien dans ces conditions que l'usage prolongé de tablettes ou de smartphones le

soir entraîne une importante difficulté à l'endormissement. L'étude a par contre montré que ni les téléviseurs LCD-LED ni les écrans d'ordinateur LCD classiques ne produisaient cet effet. En revanche, la lumière bleue est indispensable le jour. La même équipe de recherche a montré que le manque de lumière bleue caractéristique du matin retardait l'endormissement le soir [18,19]. La mélatonine agit en effet comme un compteur de photons à mémoire (on parle de mémoire photique).

Cela nous amène à tenter de comprendre pourquoi il y a tant de disparités entre les différents types d'écran.

■ Il y a écran et écran!

Une "dalle" est schématiquement composée de différents filtres, de cristaux liquides (sauf sur les écrans plasma et OLED), de transistors et d'une carte-mère pour piloter le tout (fig. 3).

L'image est composée par des pixels, eux-mêmes formés par des triplets de points, les sous-pixels, rouges, verts et bleus, dont le mélange coloré additif produit, à bonne distance, la sensation colorée recherchée (fig. 4).

Actuellement, la plupart des dalles font appel à la technologie des cristaux liquides (dalles LCD pour *Liquid Crystal Display*) dont il existe de très nombreuses variantes suivant les fabricants

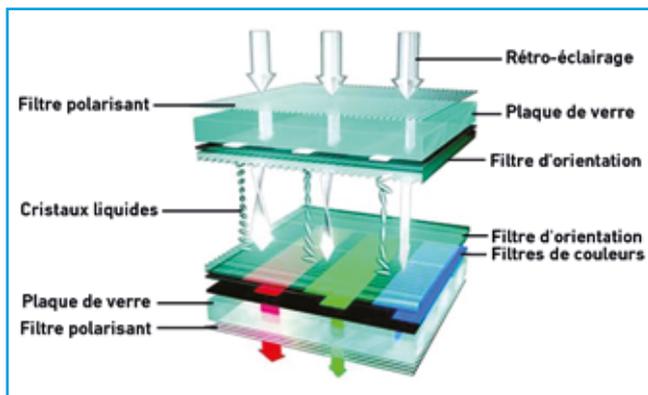


Fig. 3: Principe d'un écran LCD.

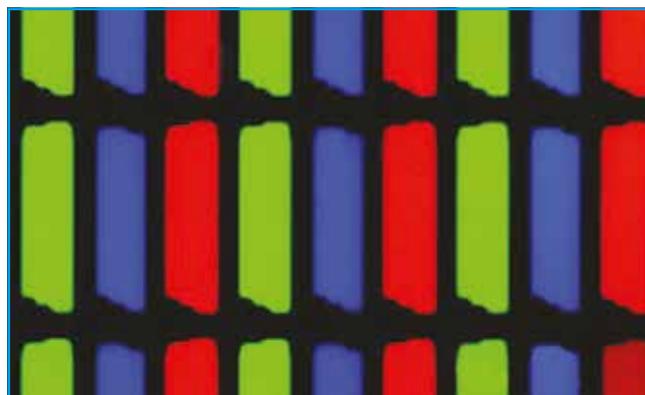


Fig. 4: Pixels et sous-pixels.

Revue générale

et dont la commercialisation s'est généralisée au milieu des années 90. Ce sont des écrans plats dits à matrice passive car ces dalles bénéficient d'un éclairage transmissif. Elles sont le plus souvent rétroéclairées par des tubes fluorescents à cathode froide (fig. 5).

Ainsi, le spectre émis par ces dalles sur leur face visible est-il directement lié au spectre des lampes de rétro-éclairage, les filtres permettant seulement de limiter le spectre pour obtenir une couleur fondamentale pour chaque sous-pixel. Nous savons qu'il n'y a pas de danger particulier dans le spectre des tubes fluorescents, peu chargé en courtes longueurs d'onde. Le problème de ces écrans se situe au niveau du contraste (rapport de luminosité entre un pixel blanc et un pixel noir) souvent insuffisant. Il est alors nécessaire de pousser la luminosité au-delà du raisonnable pour obtenir un contraste correct (ce qui par parenthèse n'était pas le cas des écrans à tube cathodique !).

La technologie de rétro-éclairage par matrices de LED (LCD-LED) s'est développée vers le milieu des années 2000 permettant d'augmenter significativement le taux de contraste et de diminuer l'épaisseur des dalles, surtout avec la technologie *edge led* où les diodes sont disposées à la périphérie de l'écran puis leur lumière diffusée par une plaque photoconductrice (fig. 6). La proportion de lumière bleue visible à l'écran se trouve ainsi fortement augmentée par rapport au LCD classique en raison du spectre même des LED, chargé dans le bleu. Toutefois, les différents filtres qui constituent la dalle en atténuent notablement les effets négatifs et en définitive, ce sont essentiellement les filtres colorés placés en avant des cristaux liquides qui conditionnent le spectre final (fig. 7). La bonne qualité des images nécessite cependant d'utiliser des filtres dans le bleu-violet pour pouvoir bénéficier à plein de la puissance du rétroéclairage LED dans le bleu. Ainsi, les écrans LCD-LED émettent-ils tout de même un spectre nettement plus froid que les LCD classiques (fig. 8).

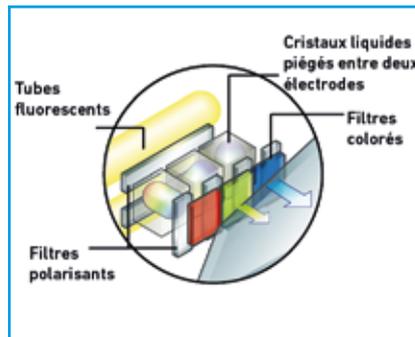


Fig. 5 : Technologie LCD classique

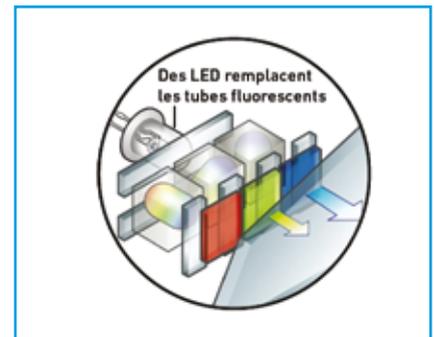


Fig. 6 : Technologie LCD-LED

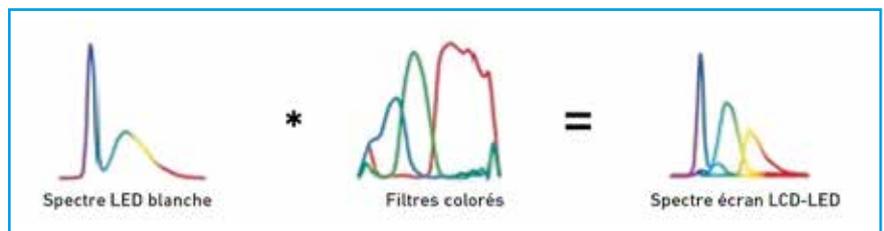


Fig. 7 : Comment arrive-t-on au spectre final d'un écran LCD-LED ?

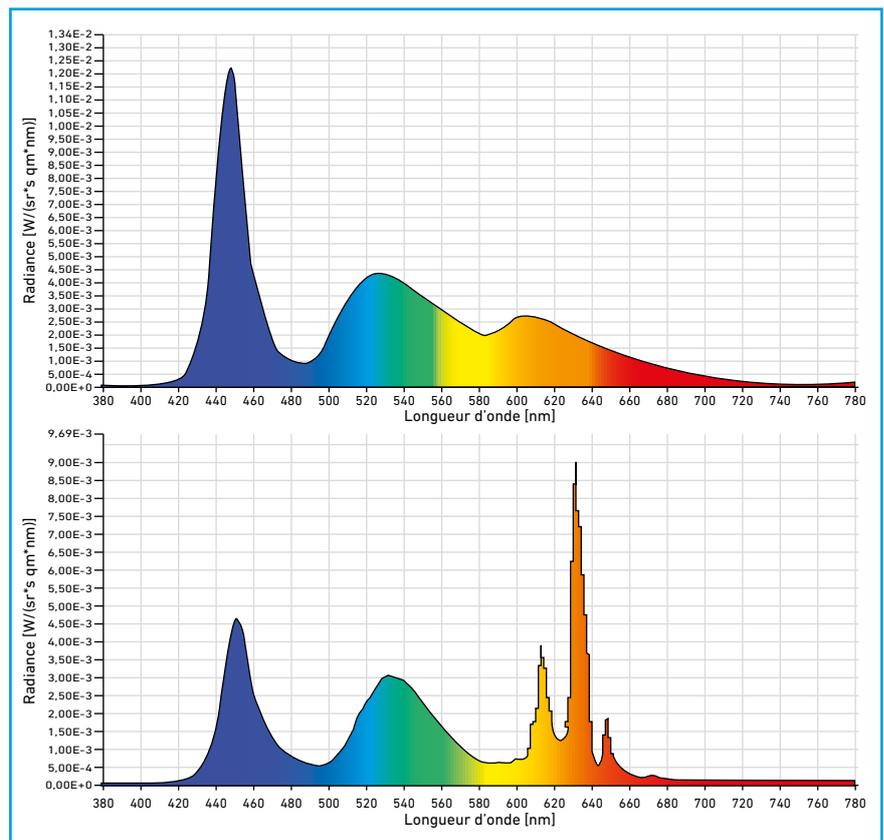


Fig. 8 : Spectres de deux écrans Edge LED de marques différentes : il y a toujours du mauvais bleu mais dans des proportions bien distinctes avec un effort de certains fabricants pour compenser ce déséquilibre spectral.

En 2007, Sony commercialise la première télévision avec écran AMOLED (*Active Matrix Organic Light-Emitting Diode*) de la famille OLED mais c'est en 2009 et 2010 que sont plus massivement utilisés ces écrans sur les smartphones. Pour la petite histoire, c'est la firme Eastman Kodak qui a inventé en 1987 la première diode lumineuse organique (OLED) mais ce n'est qu'en 2003 que Kodak commercialise le premier écran AMOLED intégré sur un appareil photographique numérique.

Ces écrans ont révolutionné la qualité des images car ils apportaient pour la première fois de véritables noirs dans les dalles de petit format. En effet le principe de l'écran AMOLED est de proposer un système dans lequel ce sont les pixels eux-mêmes qui fournissent la "lumière" de l'écran. L'éclairage n'est plus transmis mais émissif. Ainsi, si l'on commande à l'un des pixels de ne pas émettre de lumière, on obtient un pixel réellement noir (le contraste théorique est infini : $c = L/0 = \infty$) ce qui n'est pas possible avec un système rétroéclairé qui ne peut produire que des modifications de transparence par effet polarisant (**fig. 9**).

L'inconvénient majeur de cette technologie résulte du fait que l'œil de l'observateur est directement confronté au spectre d'émission des LED qui constituent la matrice ainsi qu'à une luminance qui peut être considérable (alors qu'un LCD perd 8/9 de sa puissance lumineuse en raison de la polarisation et des filtres colorés). La faible efficacité relative de la lumière bleue pour l'œil humain ainsi que la faible longévité des sous-pixels bleus amène à augmenter notablement leur intensité ou à les agrandir pour obtenir une palette colorée réaliste et durable dans le temps. Or, nous savons que les LED bleues émettent spécifiquement dans la région la plus nocive des courtes longueurs d'onde pour la macula (autour de 440 nm). La visualisation rapprochée et de longue durée de ce type d'écran peut ainsi s'avérer extrêmement nocive. Cette nocivité est direc-

tement liée à la luminance de l'écran et à l'emplacement du pic des LED bleues utilisées sur le spectre visible. Il est très difficile pour des raisons de secret industriel de connaître la nature exacte des pics d'émission des LED organiques car de nombreuses molécules sont utilisées, ayant toutes leurs caractéristiques propres. Il est cependant certain que le pic doit se situer dans la portion dangereuse du spectre pour pouvoir remplir pleinement sa fonction de couleur primaire. Il semblerait que la plupart des

molécules organiques actuellement utilisées émettent principalement autour de 450 nm (**fig. 10**).

Dans le même ordre d'idée, il faut savoir que les "murs de LED" qui sont de plus en plus utilisés maintenant pour diffuser des informations soit à l'intérieur soit à l'extérieur (comme mobilier urbain pour affichage publicitaire) utilisent des technologies de visualisation directe des LED par l'observateur avec des luminances très importantes (pour être visibles

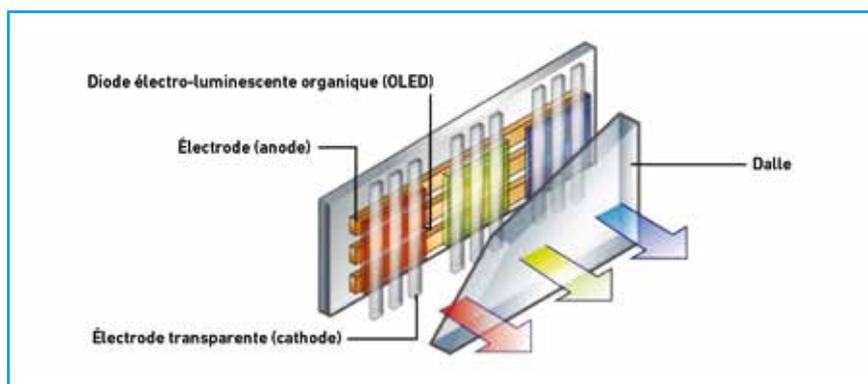


Fig. 9 : Technologie OLED.

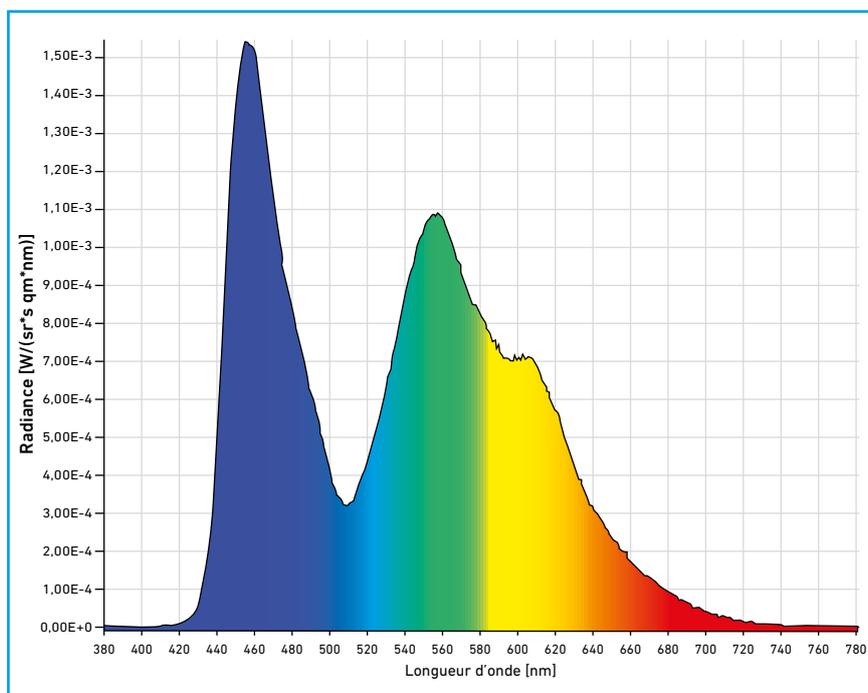


Fig. 10 : Spectre d'un écran OLED.

Revue générale

même par temps ensoleillé) de l'ordre de 6 000 à 8 000 cd/m² ce qui en fait tout leur danger en cas d'observation prolongée.

Les **écrans à plasma** sont également des écrans émissifs permettant donc une excellente profondeur des noirs. Leur principe est schématiquement le même que celui des tubes fluorescents. Ce sont les sous-pixels eux-mêmes qui contiennent les gaz qui se transforment en plasma sous l'effet de la tension électrique, émettant une lumière ultraviolette que les luminophores (rouges, verts et bleus) convertissent en lumière colorée visible (**fig. 11**). Les luminophores bleus principalement utilisés pour ces écrans émettent à 450 nm (BaMgAl₁₀O₁₇: Eu²⁺) mais avec une luminance très faible (de l'ordre de 18 cd/m² pour une luminance du blanc à 165 cd/m²), un rendement lumineux très mauvais et une très faible capacité de vieillissement. Il y a donc en fait peu de danger à observer ce type d'écran, compte tenu des faibles proportions de bleu dans leur spectre (**fig. 12**).

Pour mémoire voici l'aspect du spectre solaire (**fig. 13**).

Nous comprenons bien maintenant que les cristaux liquides n'étant pas des sources de lumière primaire, leur potentielle nocivité dépend de la source qui les éclaire et des filtres qui les séparent de l'observateur. Les écrans dont les pixels sont par eux-mêmes la source lumineuse directement observée sont en conséquence beaucoup plus dangereux en fonction du spectre émis, de la distance et de la durée d'observation.

Les technologies OLED qui sont donc essentiellement visées par ces remarques sont en pleine évolution et rien n'est figé à ce jour, les déclinaisons de ces techniques sont aussi nombreuses que prometteuses (PLED pour *Polymer LED*, SMOLED pour *Small Molecular OLED*, PHOLED pour *Phosphorescent OLED*, etc.). Notre inquiétude vient du fait que les objectifs

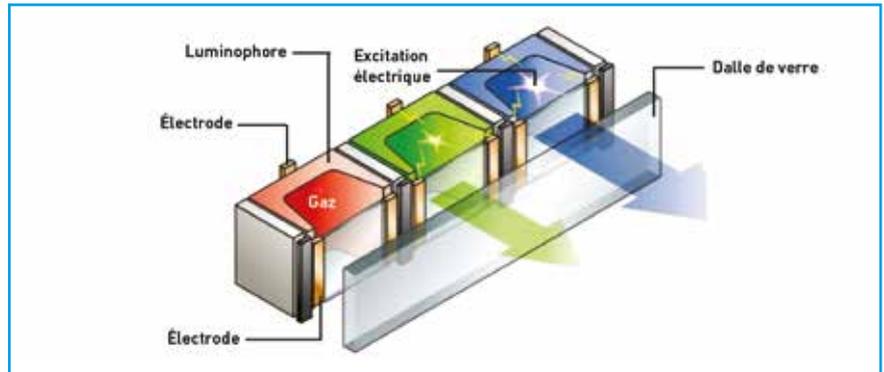


Fig. 11 : Technologie d'un écran plasma.

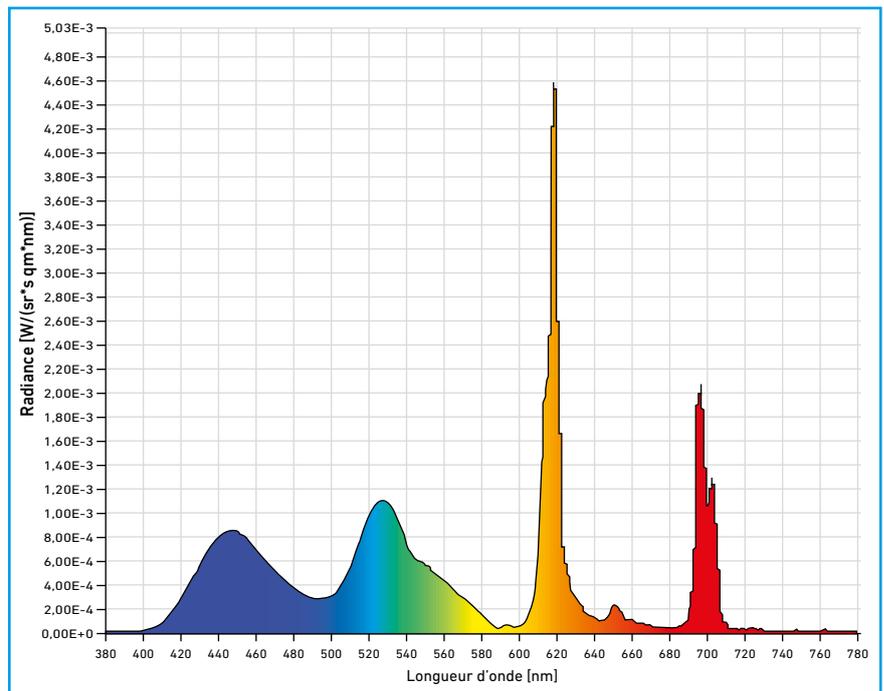


Fig. 12 : Spectre d'un écran plasma.

recherchés par les fabricants n'incluent pas forcément la sécurité oculaire mais sont plutôt orientés vers l'aspect flatteur des couleurs produites (par exemple les écrans plasma se rapprochent plus que les autres des couleurs "cinéma"), la qualité du contraste, l'épaisseur des dalles, leur durée de vie, la recherche d'une consommation énergétique plus faible. Ainsi les écrans plasma ont-ils cessé d'être produits par leurs 3 principaux fabricants malgré leurs avantages indiscutables.

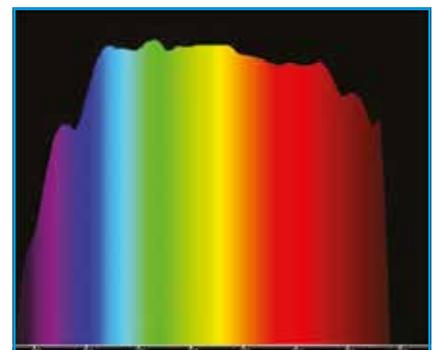


Fig. 13 : Spectre solaire à midi.

Revue générale

Les contacts que l'on peut avoir avec les industriels montrent que peu d'entre eux sont correctement informés des risques rétinien des écrans (et des lampes à LED) du fait d'une médiatisation mal maîtrisée. À titre d'exemple, une étonnante étude publiée en 2012 par le laboratoire sommeil, attention et neuropsychiatrie de l'Université de Bordeaux Segalen (CNRS) proposait de mettre en place dans l'habitable des voitures des sources de lumière bleue LED afin d'éviter l'endormissement des conducteurs la nuit, sans même se rendre compte que, dans le même temps, leur rétine pouvait être soumise à des radiations nocives [20]. Le fait que 17 % des volontaires n'aient pas supporté la lumière bleue a été balayé d'un revers de main et le responsable de l'étude (non médecin), écrivait sans sourciller à propos de la lumière bleue: "Cette dernière a mauvaise presse, des travaux précédents ont montré une dégénérescence de certaines cellules animales lorsqu'elles y sont exposées, mais rien ne prouve qu'elle se produise aussi chez l'homme"; un bien mauvais exemple pour les industriels. Et pourtant, en réalité les termes utilisés dans la publication originale font preuve de davantage de prudence et, de plus, le pic des LED employées dans l'étude, à 468 nm, était convenablement choisi. Cela montre bien que certains des ingénieurs qui ont fait cette étude étaient très mal informés sur les dangers oculaires de la lumière à haute énergie entraînant une communication pour le moins hasardeuse.

Tout cela est toutefois en train de changer et les demandes de renseignements sur cette question sont de plus en plus nombreuses avec une volonté manifeste d'améliorer la sécurité de la production industrielle. Il est donc essentiel de médiatiser les risques potentiels afin de sensibiliser et de responsabiliser l'ensemble de la filière, sachant que les solutions pour sécuriser les lampes LED existent déjà et, qu'en ce qui concerne les écrans, elles sont en gestation. On ne peut que se féliciter de constater d'ailleurs que depuis très peu de temps on commence à trouver sur les emballages

des lampes à LED les mentions utiles permettant d'en connaître les caractéristiques et donc la potentielle dangerosité: température de couleur et IRC qui sont une bonne indication du spectre de la lampe (fig. 14).

Ces mentions, appelées dans ses vœux par le rapport de l'ANSES [11] et des publications ultérieures [21, 22] ne sont toujours pas obligatoires, seule la mention de la classe d'efficacité énergétique et la consommation d'énergie pondérée (sans intérêt pour les risques oculaires) l'étant du fait d'une directive de l'union européenne [23] mais les industriels commencent à percevoir l'intérêt marketing de leur apposition (fig. 15). De même, il est rassurant de lire sur quelques étiquettes une durée de vie beaucoup plus réaliste que celle qui était annoncée auparavant (15 000 heures au lieu des 100 000 heures alléguées aux débuts de ces lampes). On peut aussi, avec soulagement, voir que la proportion de lampes LED à spectre chaud a considérablement augmenté dans les rayons depuis quelques mois. Ainsi donc, la prise de conscience commence déjà à se traduire dans les faits : nous ne pouvons que nous en réjouir.

Mesures préventives

Quoi qu'il en soit, des mesures préventives doivent être préconisées et mises en place au plus tôt, particulièrement chez l'enfant.

Une étude du CREDOC en 2012 a montré que 64 % des enfants de 12 ans et plus utilisaient ordinateur, portable, tablette et smartphone [24]. 85 % des adolescents de 12 à 17 ans disposent d'un téléphone mobile et envoient en moyenne 435 SMS par semaine ! 20 % d'entre eux regardent la télévision sur leur portable. Le temps total moyen passé devant un écran (portable, ordinateur, télévision) dépasse 40 heures par semaine soit de l'ordre de 6 heures par jour. Actuellement, on estime que ce temps est plutôt de l'ordre de 7 heures. Cela donne une idée de



Fig. 14: Mentions portées sur deux emballages de lampes à LED récentes (anonymisées).

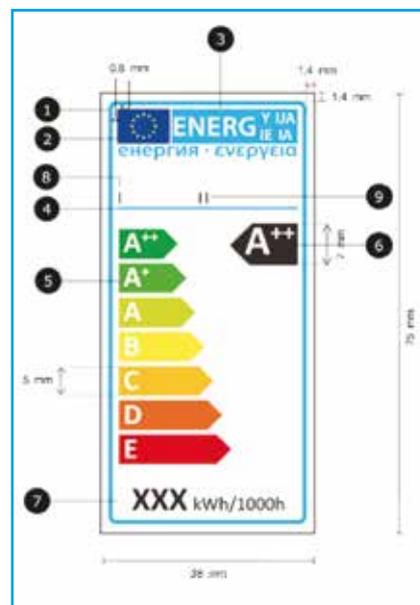


Fig. 15: Mention obligatoire de la classe d'efficacité énergétique et de la consommation énergétique pondérée sur l'emballage des lampes (aspect de l'étiquette imposé par la directive européenne).

l'ampleur du problème que certains tendent à minimiser.

En ce qui concerne les jeux vidéo, il n'y a pas de particularité concernant les écrans par eux-mêmes (pour les consoles de salon) car c'est uniquement la qualité de la carte graphique qui permettra une bonne fluidité des images ainsi qu'un temps de réponse de l'écran qui doit être très faible et non la technologie de l'écran par elle-même. Pour les consoles de jeux portables, elles ont été longtemps équipées d'écrans LCD classiques (TFT à matrice active) sans danger (Game Boy puis Nintendo DS, Playstation PSP Sony, etc.) mais, attention, dans les dernières générations (la 8^e en l'occurrence), on peut retrouver des écrans OLED bien que ce ne soit pas la majorité (PS Vita mais pas la dernière Vita 2000 qui revient curieusement au LCD, par contre Nintendo 3DS et DSi sont en LCD). Les contraintes sont alors les mêmes que pour les smartphones et tablettes OLED, les temps d'observation quotidiens venant s'ajouter au temps d'utilisation de l'ensemble des écrans portables.

Il convient d'insister tout particulièrement sur la dangerosité des casques de réalité virtuelle (visiocasques) qui sont pour la plupart maintenant équipés d'écrans OLED. Ces dispositifs cumulent les facteurs de risque : écrans OLED, grande proximité des écrans, potentialisation des effets toxiques par la présence de systèmes optiques biconvexes, longue durée d'observation : un concentré explosif !

La première des mesures à prendre, il faut le souligner, est de se protéger correctement de la lumière solaire qui reste la principale pourvoyeuse de radiations de courtes longueurs d'onde. Nous savons parfaitement le faire (par des verres teintés qui peuvent couper la totalité de la lumière bleue notamment), encore faut-il en avoir la volonté. Il ne faut toutefois pas minimiser l'impact des sources artificielles de lumière bleue par rapport à la

lumière du jour. La luminance d'un paysage observé par ciel clair est de l'ordre de 500 à 25 000 cd/m² sachant que la proportion de lumière bleue dans le spectre solaire à midi est d'environ 24 à 30 % en incluant tout le bleu (normes ASTM G173-03 et D65). De plus, le regard porte le plus souvent à longue distance et l'on passe peu de temps à observer directement le ciel. La luminance d'un smartphone est de l'ordre de 400 à 500 cd/m² mais observé à très courte distance et selon les écrans avec une proportion importante de bleu (35 % pour une LED blanc froid et uniquement en bleu-violet toxique). Le temps passé quotidiennement devant les écrans et en lumière artificielle (potentiellement à LED) étant pour les jeunes souvent nettement supérieur à celui passé dehors en lumière naturelle, ces chiffres permettent d'appréhender la véritable ampleur du problème.

Par ailleurs, des dispositifs optiques permettant une diminution significative de la proportion de lumière bleue toxique illuminant la rétine maculaire existent et sont en constante progression.

POINTS FORTS

- Les enfants représentent une population à haut risque du fait de leur très longue espérance de vie et de l'incapacité de leur cristallin à filtrer la lumière bleue.
- Il existe une dualité dans la lumière bleue. Entre 400 et 455 nm, elle est toxique pour les cellules rétinienne maculaire mais entre 460 et 500 nm, elle est indispensable au bon fonctionnement des rythmes circadiens.
- Tous les types d'écran ne présentent pas les mêmes dangers vis-à-vis de la lumière bleue. Actuellement, les plus risqués sont les écrans AMOLED et, à un moindre degré, les écrans LCD-LED.
- Il semble utile de faire usage de toutes les possibilités offertes pour limiter l'exposition à la lumière bleue toxique (protection solaire, filtres, logiciels, etc.) mais aussi de limiter la durée d'observation des écrans, de les éloigner le plus possible et d'éviter les éclairages par lampes à LED blanc froid. On prendra soin cependant de préserver une exposition suffisante à la lumière bleu-turquoise bien programmée en fonction de la chronobiologie.

Les implants jaunes sont déjà largement utilisés dans la chirurgie de la cataracte nous l'avons vu. Les verres ophtalmiques pourvus de systèmes filtrant spécifiquement la lumière bleue se développent fortement depuis peu. Enfin, nous avons vu arriver tout récemment sur le marché des filtres bloquant sélectivement la lumière bleue sur une nouvelle génération de lentilles de contact.

Ces deux derniers dispositifs peuvent être utilisés avec intérêt chez les jeunes.

Tous les filtres proposés sur le marché actuel n'ont pas les mêmes caractéristiques, loin s'en faut et n'ont pas non plus la même finalité. La plupart des filtres atténuent en fait la totalité de la lumière bleue soit pour des raisons purement techniques, soit volontairement, soit dans un but de compromis esthétique (SeaCoat Blue de Nikon, Recharge de Hoya, Dura Vision Blue Protect de Zeiss, SRB de Seiko etc.). D'autres s'évertuent à ne supprimer que le bleu-violet toxique pour la rétine centrale, le leader et précurseur étant Essilor avec son traitement Crizal

I Revues générales

Prevenica. La première solution permet théoriquement de limiter le risque rétinien ainsi que la diminution de la sécrétion de mélatonine le soir mais elle la diminue aussi en première partie de journée ce qui n'est pas favorable. La deuxième solution donne la priorité à la sécurité rétinienne mais doit être complétée le soir par un système d'atténuation de la lumière bleu-turquoise si l'on veut préserver les rythmes circadiens. Dans tous les cas, ces traitements de surface atténuent la lumière bleue de façon assez modeste une fois les mesures faites au-delà des annonces parfois optimistes (de l'ordre de 10 à 15 %, un peu plus avec Prevenica) [25].

Plus récemment apparaissent des systèmes d'inclusion de molécules dans la trame même des verres permettant un blocage plus important dans le bleu-violet. C'est le cas du système Eye Protect System d'Essilor qui coupe 20 à 30 % de la lumière bleu-roi et qui peut être couplé au traitement de surface Prevenica pour une atténuation globale de l'ordre de 30 à 50 %. Le verre BlueTech de Solutions Eye Technologies LLC opte pour cette technologie d'inclusion dans le verre et permet de filtrer environ 15 % de bleu-violet et 10 % de bleu-turquoise.

Il faut toutefois retenir que ce type de protection, de même que les filtres disposés devant les écrans (en particulier pour les ordinateurs de bureau et les smartphones) ne peut être qu'un appoint ajouté aux précautions essentielles que l'on doit respecter dans l'usage des écrans.

La première d'entre elles est de limiter le plus possible le temps d'observation surtout à distance rapprochée, mais ceci tient à l'évidence du vœu pieux ! Il faudra des longues campagnes médiatiques pour y parvenir.

Un point crucial est de prendre connaissance de la technologie des écrans dont on dispose afin de privilégier parmi eux les moins nocifs (suivant les critères analysés plus haut) et de limiter le temps d'observation des plus dangereux.

Ce peut être la tâche des parents et des éducateurs.

Il est ensuite nécessaire de s'habituer à augmenter le plus possible la distance d'observation afin de réduire l'illumination rétinienne. L'usage intensif de terminaux mobiles, que ce soient les smartphones, les tablettes et phablettes ou les montres connectées, aboutit à la fois par effet réflexe et par nécessité (en raison de la petitesse des caractères et des images présentés) à une diminution importante de la distance de lecture. Si en moyenne un livre se lit à environ 40 cm, un smartphone est regardé à 32 cm [26]. Ce phénomène est encore accru chez l'enfant, son fort pouvoir accommodatif lui permettant sans fatigue perçue de voir net à très courte distance. Or l'énergie lumineuse qui vient frapper la rétine est directement proportionnelle à la distance d'observation. Le danger est donc accru par rapport à celui des écrans de bureau ou de la télévision.

Il faut également et de façon impérative régler la luminosité des écrans à la plus petite valeur admissible en particulier pour les écrans de type OLED. La qualité du contraste de ces écrans est telle qu'il est parfaitement inutile, sauf pour une observation en plein soleil, de forcer la luminosité pour obtenir de belles images contrairement aux écrans LCD. Ce réflexe que nous avons pris d'augmenter la luminosité des écrans LCD est difficile à rompre car, très vite, l'œil ne perçoit plus ces fortes intensités lumineuses en raison de l'effet bien connu d'adaptation au niveau lumineux (de même que nous nous adaptons très vite aux différences de luminosité entre l'extérieur et l'intérieur alors qu'elles peuvent être considérables). Cela demande une information et une éducation. Il est ainsi capital d'utiliser sur les smartphones la fonction d'adaptation de la luminosité à l'environnement puis de régler le niveau de luminosité au plus bas possible.

Globalement, il faut éviter de regarder des écrans OLED de très près et trop longtemps en prenant conscience que

l'on regarde ainsi directement des LED potentiellement toxiques.

On voit bien que la protection contre la lumière bleue devient complexe. Couper le bleu-violet semble favorable dans tous les cas mais le choix de couper ou non la lumière bleu-turquoise est plus discutable. Il faudrait en théorie garder cette lumière en milieu diurne, surtout le matin et la supprimer en ambiance nocturne. C'est ce que proposent par exemple certaines applications qu'il ne faut pas hésiter à mettre en œuvre que ce soit pour les dispositifs portés ou pour les fixes, même si l'aspect des couleurs doit en pâtir.

F. lux permet de modifier automatiquement la luminosité d'un écran d'ordinateur en fonction de l'environnement lumineux comme on peut le faire avec un smartphone mais aussi il optimise également la température de couleur de l'écran afin de limiter le bleu en période nocturne. Le logiciel est compatible avec toutes les plateformes.

Night Shift est une application proposée par Mac sur les iPhone et iPad disposant de l'iOS 9.3. Le principe est de modifier les couleurs de l'écran en fonction de l'heure de la journée (tendance bleue le matin et orangée le soir) afin de préserver au mieux l'apport naturel circadien de la lumière bleue et de ne pas perturber la sécrétion de mélatonine.

Google Play Livres permet de la même façon d'appliquer un filtre de lumière bleue en fonction de la luminosité ambiante mais n'est disponible que pour la lecture d'*e-books*.

Il faudra enfin se prémunir des effets cumulatifs des différentes sources de lumière bleue chez les jeunes en optant notamment pour des éclairages évitant au maximum les LED blanc froid au profit des lampes à LED blanc chaud moins dangereuses. Dans un proche avenir, il conviendra de privilégier les lampes à LED non directives (par exemple les



Fig. 16 : Lampe à filaments LED.

nouvelles LED à filaments). Ces lampes ont des températures de couleurs bien plus favorables que les LED bon marché actuelles et elles limitent significativement la luminance (intensité lumineuse par unité de surface) qui peut être considérable dans les LED de première génération, trop directives mais encore aujourd'hui les plus courantes. Pour cela, on utilise la technologie COG (*Chip On Glass*: puce sur verre). Les puces LED sont implantées sur de petits filaments de verre puis le tout est recouvert d'une couche de phosphore qui va donner la partie chaude du spectre final. Le double avantage est d'obtenir une température de couleur basse limitant la portion bleue du spectre et d'augmenter la surface d'émission permettant d'éclairer sur 360° et de diminuer très fortement la luminance. Les deux principaux dangers des lampes à LED sont ainsi très atténués sans compter qu'esthétiquement, l'ensemble imite très bien feu nos vieilles lampes à bulbe! (fig. 16).

“De la même façon que l'on parle d'hygiène de vie, il faut réfléchir à une hygiène de lumière”, c'est la position judicieuse que Claude Gronfier, chercheur en chronobiologie à l'INSERM Lyon Bron, a proposée au 29^e Congrès du sommeil à Lille en 2014 en rappelant que les lumières bleues des écrans activent 100 fois plus les cellules à mélanopsine que la lumière blanche d'une lampe.

Je conclurai en disant que nous devons aller de plus en plus vers un usage raisonné et différencié de la lumière tout

au long de la journée car il n'existe pas (encore) de solution universelle pour gérer à la fois les risques et les avantages de la lumière bleue. Pour limiter les risques maculaires du bleu-violet, toujours se protéger au maximum de la lumière solaire, privilégier les lampes à LED de teinte “chaude” et se tenir éloigné des écrans OLED qui doivent être employés avec parcimonie; pour limiter les perturbations des rythmes circadiens, éviter de restreindre la lumière bleu-turquoise le matin mais la réduire au moins deux heures avant le coucher. Dans l'intérêt des générations futures, nous devons inclure ces objectifs dans les projets éducatifs de nos enfants.

BIBLIOGRAPHIE

1. TAYLOR HR, WEST S, MUNOZ B *et al.* The long-term effects of visible light on the eye. *Arch Ophthalmol*, 1992;110:99-104.
2. CRUICKSHANKS KJ, KLEIN R, KLEIN BE. Sunlight and age-related macular degeneration. The Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol*, 1993;111:514-518.
3. Eye Disease Case-Control Study Group. Risk factors for neovascular age-related macular degeneration. *Arch Ophthalmol*, 1992;110:1701-1708.
4. GOLD R. Habitudes des ophtalmologistes français fin 2015. *Rev Opht Fr*, 2016;204:30-33.
5. WIHLMARK U, WRIGSTAD A, ROBERG K *et al.* Lipofuscin accumulation in cultured retinal pigment epithelial cells causes enhanced sensitivity to blue light irradiation. *Free Radic Biol Med*, 1997;22:1229-1234.
6. ARNAULT E *et al.* Phototoxic Action Spectrum on a Retinal Pigment Epithelium Model of Age-Related Macular Degeneration Exposed to Sunlight Normalized Conditions. *PLoS One*, 2013. e71398. doi:10.1371/journal.pone.0071398.
7. AUGOOD CA, VINGERLING JR, DE JONG PT *et al.* Prevalence of age-related maculopathy in older Europeans: the European Eye Study (EUREYE). *Arch Ophthalmol*, 2006;124:529-535.
8. FLETCHER AE, BENTHAM GC, AGNEW M *et al.* Sunlight exposure, antioxidants, and age-related macular degeneration. *Arch Ophthalmol*, 2008;126:1396-1403.
9. <http://www.inserm.fr/actualites/rubriques/actualites-recherche/les-led-pas-si-inoffensives-que-ca>.
10. JAADANE I, BOULENGUEZ P, CHAHORY S, CARRÉ S, SAVOLDELLI M, JONET L, BEHAR-COHEN F, MARTINSONS C, TORRIGLIA A. Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LEDs). *Free Radic Biol Med*. 2015 Jul;84:373-84. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2015.03.034. Epub 2015 Apr 8.
11. Rapport ANSES <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2008sa0408.pdf>.
12. NF EN 62471 Décembre 2008. Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes. <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-62471/secureite-photobiologique-des-lampes-et-des-appareils-utilisant-des-lampes/article/710877/fa151858>.
13. HAM WT JR, MUELLER HA, SLINNEY DH. Retinal sensitivity to damage from short wavelength light. *Nature*, 1976;206:153-155.
14. Wolbarsht, ed. Laser applications in medicine and biology, New York, Plenum Press, 1989.
15. PROVENCIO I, JIANG G, DE GRIP WJ *et al.* Melanopsin : an opsin in melanophores, brain, and eye. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1998;95:340-345.
16. BRAINARD GC, HANIFIN JP, GREESON JM *et al.* Action spectrum for melatonin regulation in humans : evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci*, 2001;21:6405-6412.
17. FIGUEIRO MG, WOOD B, PLITNICK B *et al.* The impact of light from computer monitors on melatonin levels in college students. *NeuroEndocrinology Letters*, 2011;32:158-163.
18. REA MS, FIGUEIRO MG, BIERMAN A *et al.* Modelling : The spectral sensitivity of the human circadian system. *Lighting Research and Technology*, 2012; 44:386-396.
19. WOOD B, REA MS, PLITNICK B *et al.* Light level and duration of exposure determine the impact of self-luminous tablets on melatonin suppression. *Appl Ergon*, 2013;44:237-240. doi: 10.1016/j.apergo.2012.07.008. Epub 2012.
20. TAILLARD J, CAPELLI A, SAGASPE P *et al.* (2012) In-Car Nocturnal Blue Light Exposure Improves Motorway Driving: A Randomized Controlled Trial. *PLoS ONE*, 7:e46750. doi:10.1371/journal.pone.0046750.
21. RENARD G, LEID J. Les dangers de la lumière bleue : la vérité ! *JFr Ophtalmol*, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfo.2016.02.003>.
22. LEID J. Lumière bleue : quels sont ses risques pour les yeux ? Points de Vue.

I Revues générales

International Review of Ophthalmic Optics. www.pointsdevue.com, 2016.

23. Règlement délégué (UE) No 874/2012 de la commission du 12 juillet 2012 complétant la directive 2010/30/UE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne l'étiquetage énergétique des lampes électriques et des luminaires. Erreur ! La référence de lien hypertexte est incorrecte. http://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/rapport-credoc-diffusion-tic-2012.pdf.

24. Credoc 2012. La diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française. http://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/rapport-credoc-diffusion-tic-2012.pdf.

25. LAGACÉ J-P. La lumière bleue nous cause-t-elle vraiment les bleus? (Partie 2). <https://www.aoqnet.qc.ca/wp-content/uploads/2015/01/La-lumi%C3%A8re-bleue-Partie2.pdf>.

26. BABABEKOVA Y, ROSENFELD M, HUE JE *et al.* Font Size and Viewing Distance of Handheld Smart Phones. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry*, 2011;88:795-797.

- Fig. 3 : <https://lumierebleue.wordpress.com/>
- Fig. 5, 6, 9 et 11 : <http://lyceejdarc.org/autodoc/cours/003%20T%20STI2D/Technologie%20transversale/steganographie/index.html?Lescreens.html>
- Fig. 8, 10 et 12 : <http://www.hdfever.fr/2014/09/01/mesures-spectrales-des-televiseurs-en-test/>
- Fig. 13 : <http://www.lesnumeriques.com/loisirs/danger-led-nos-mesures-dit-vraiment-rapport-calme-n16280.html>

CREDITS

- Fig. 1 : <http://pst.chez-alice.fr/bacesl/beslAn15v.htm>

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.



BULLETIN D'INSCRIPTION AUX 11^{ES} JIFRO À RETOURNER À : PERFORMANCES MÉDICALES – 91, AVENUE DE LA RÉPUBLIQUE – 75011 PARIS

Nom :

Prénom :

Adresse :

Ville/Code postal :

Téléphone :

Fax :

E-mail :

■ Mode de paiement

■ Par chèque (à l'ordre de Performances Médicales)

■ Par carte bancaire n°

(à l'exception d'American Express)

Date d'expiration : Cryptogramme :

Signature:

Possibilité de paiement en ligne sur www.jifro.info
(paiement sécurisé)

■ Droits d'inscription

Les droits d'inscription comprennent :

- L'accès aux conférences
- L'accès aux pauses-café et aux déjeuners-buffet

Médecins

- Totalité du congrès : 220 €
 - 1 jour de congrès : 160 €
- Précisez le jour : Jeudi 25 Vendredi 26

DES/DIS/Étudiants/Orthoptistes

- Totalité du congrès : 160 €
 - 1 jour de congrès : 110 €
- Précisez le jour : Jeudi 25 Vendredi 26

■ Transports



SNCF : 20 % de réduction sur les trajets aller/retour. Je souhaite un fichet SNCF.

Transport aérien : lors de la confirmation de votre inscription, un numéro d'agrément vous sera transmis. Il vous permettra d'obtenir des réductions sur les transports aériens.

■ Hébergement

Je souhaite recevoir une liste d'hôtels proches du Palais des Congrès de Versailles (liste également disponible sur le site Internet : www.jifro.info).