

# La lumière « bleue » sous l'œil du spectroscope

par Sylvie ZANIER

Physique, ingénierie, terre, environnement, mécanique (PhITEM)  
Université Grenoble Alpes – Grenoble Cedex 9  
sylvie.zanier@univ-grenoble-alpes.fr

et Julien DELAHAYE

CNRS  
Institut Néel – 38042 Grenoble Cedex 9  
julien.delahaye@neel.cnrs.fr

**D**ANS CET ARTICLE, nous appliquons la spectroscopie à l'étude d'un sujet d'actualité : la lumière bleue. Nous montrons comment la comparaison des spectres d'émission de différentes sources de lumière courantes et des spectres de transmission de verres de lunettes censés nous protéger des méfaits de cette lumière bleue, permet d'exercer de façon « éclairée » son sens critique.

## 1. LA LUMIÈRE BLEUE : UN SUJET D'ACTUALITÉ

« Bonjour, j'ai un message de votre opticien xxx. La lumière bleue des écrans peut aggraver vos yeux. Chez xxx, votre santé visuelle est notre priorité. La protection anti-lumière bleue est proposée sur toutes nos lunettes. » Tel est en substance le texte d'une publicité diffusée en 2017 par un groupe d'opticiens<sup>(1)</sup> français, nous mettant en garde contre la lumière bleue de nos écrans et vantant les mérites d'un traitement de leurs verres de lunettes. Depuis plusieurs années, la lumière bleue et ses méfaits font l'objet de nombreux articles, scientifiques ou non. Elle perturberait notre sommeil, accélérerait le vieillissement de notre rétine et serait de ce fait un véritable problème de santé publique. Parallèlement à cela, les fabricants de verres et les groupes d'opticiens nous informent à grand renfort de publicité qu'ils ont la solution à ce problème : des verres de lunettes anti-lumière bleue.

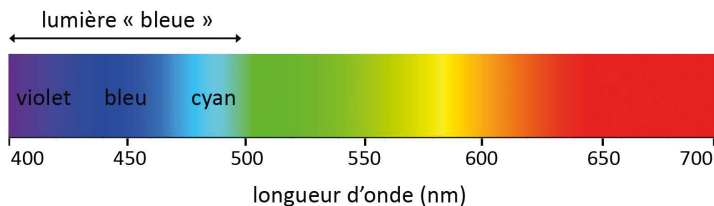
Dans cet article, nous proposons d'aborder ce problème avec le regard du physicien. Nous montrons comment l'utilisation d'un spectromètre permet d'apporter des éléments de réponse objectifs à un certain nombre de questions : où trouve-t-on cette lumière bleue ? Quels sont les effets sur la lumière des traitements anti-lumière bleue des verres de lunettes ? Comment un verre de lunettes pourrait-il filtrer la lumière

(1) Dans cet article, on entend par « opticien » un fabricant ou vendeur de lunettes, et non un physicien s'intéressant à l'optique.

bleue tout en restant incolore ? Nous verrons que ces questions peuvent être l'occasion de développer son esprit critique, notamment en décryptant la communication faite par les opticiens, fabricants ou vendeurs de verres de lunettes. La lumière bleue est un exemple de sujet d'actualité qui concerne particulièrement les jeunes (d'après une étude récente, les 16-24 ans passent en moyenne neuf heures par jour à regarder des écrans lumineux ! [1]) et qui fait appel à des connaissances de physique, de biologie et de technologie. Autant d'éléments qui en font un sujet de choix pour des travaux pluridisciplinaires au lycée.

## 2. QU'EST-CE QUE LA LUMIÈRE « BLEUE » ET OÙ LA TROUVE-T-ON ?

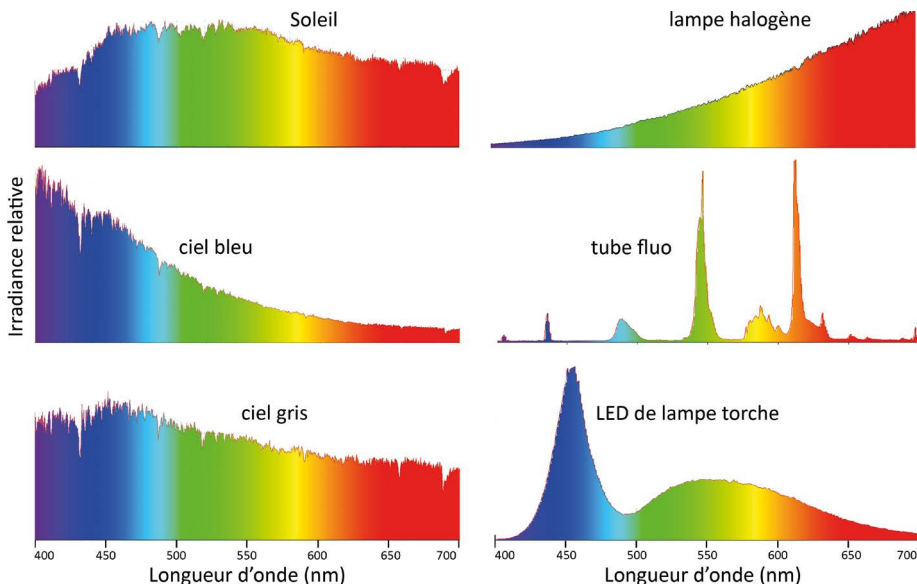
Le terme de lumière « bleue » dont parlent les opticiens fait référence à la partie du spectre de la lumière qui s'étend entre 400 nm et 500 nm, donc à l'ensemble des courtes longueurs d'onde visibles (cf. figure 1). Notons que cette dénomination peut prêter à confusion, car cet intervalle recouvre en réalité les composantes monochromatiques perçues par l'œil de couleur bleue, mais aussi violette (en dessous de 430 nm environ) et cyan (au-dessus de 480 nm environ).



**Figure 1** - Le spectre de la lumière visible et la région correspondant à la lumière appelée « bleue » par les opticiens. *N.B.* Les dégradés de couleurs apparaissant dans certaines figures de cet article sont de fausses couleurs dessinées par notre logiciel de spectroscopie, censées correspondre approximativement à ce que perçoit l'œil ; il est en effet très difficile de reproduire fidèlement les couleurs spectrales par une photographie numérique [2-3].

Nous savons depuis Isaac Newton que la lumière du Soleil contient toutes les couleurs du spectre visible (avec en plus des ultraviolets et des infrarouges). Mais qu'en est-il pour les autres sources de lumière naturelles et artificielles auxquelles nous sommes confrontés au quotidien ? Et surtout, comment l'intensité émise se répartit-elle en fonction de la longueur d'onde ? Afin de répondre à ces questions, on peut mesurer les spectres d'émission de différentes sources lumineuses. Nous l'avons fait ici à l'aide d'un spectromètre à CCD fibré, étalonné en intensité (correction de la réponse spectrale du spectromètre) en utilisant comme référence une ampoule halogène dont on a supposé l'émission identique à celle d'un corps noir à 2800 K (mode « irradiance » du logiciel du spectromètre). Nous présentons sur la figure 2 (cf. page ci-contre) les spectres d'émission de différentes sources de lumière naturelles (Soleil au zénith, ciel bleu, ciel gris)

et artificielles (ampoule halogène, qui apparaît ici comme un corps noir parfait de par notre méthode d'étalonnage en intensité citée précédemment, tube fluorescent, LED).



**Figure 2** - Spectres d'émission de différentes sources de lumière naturelles (Soleil au zénith, ciel bleu, ciel gris) et artificielles (lampe halogène, tube fluorescent, LED de lampe torche bon marché).

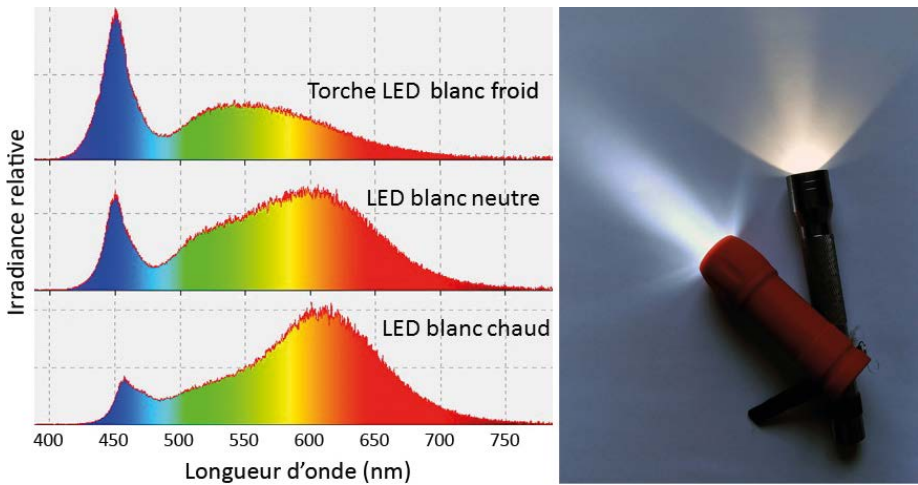
Le spectre du Soleil est relativement plat, avec un large maximum dans le vert. Il est proche de celui d'un corps chauffé à 6000 °C, température de la surface du Soleil. Les nombreuses anomalies de cette courbe, enregistrée à travers l'atmosphère terrestre, sont en partie dues à l'absorption de la lumière solaire par les différents éléments chimiques présents dans l'atmosphère. La lumière provenant du ciel bleu a une répartition en longueur d'onde très différente, avec une intensité émise qui décroît fortement quand la longueur d'onde augmente. Cette décroissance est due à la diffusion de la lumière du Soleil par les molécules de l'atmosphère (diffusion Rayleigh [4]). C'est cet excès de lumière aux courtes longueurs d'onde qui donne la coloration bleue du ciel. Dans le cas du ciel gris, le spectre est plus plat : la diffusion de la lumière du Soleil par les gouttelettes d'eau ou les cristaux de glace des nuages est peu sélective en longueur d'onde dans le domaine visible (diffusion de Mie).

Les spectres des sources de lumière artificielles sont très différents les uns des autres, alors même que ces différences ne sont pas toujours évidentes à l'œil (la lumière paraît « blanche »). L'émission de lumière par les lampes halogènes est d'origine thermique : un courant électrique circule dans un filament métallique, l'amenant à une température

approchant les 3000 °C. Cette température étant bien inférieure à celle de la surface du Soleil, l'émission du filament est de couleur jaune-orangé : la lumière émise contient très peu de bleu et beaucoup de rouge (et encore plus d'infrarouges, d'où un rendement énergétique relativement mauvais). La lumière émise par le tube fluorescent est quant à elle caractéristique d'une émission atomique : une décharge électrique est générée dans du mercure sous basse pression, provoquant l'émission de raies lumineuses caractéristiques de ce gaz. Une raie ultraviolette intense est transformée en lumière visible (en particulier en rouge) par des poudres fluorescentes déposées sur la surface du tube, ce qui permet d'équilibrer le spectre émis donc de rendre la lumière plus blanche, tout en améliorant le rendement de la lampe. On remarquera l'émission peu intense de lumière bleue pour cette lampe, avec cependant un pic étroit à 436 nm qui correspond à l'une des raies d'émission du mercure, et un pic plus large vers 480 nm obtenu par fluorescence. Enfin, la lumière émise par la LED (ici une lampe torche bon marché) présente un pic marqué dans le bleu, centré sur 450 nm, et un pic plus large centré dans le vert-jaune, vers 550 nm, avec entre ces deux pics un creux dans le cyan, vers 480 nm. Elle se distingue donc clairement des deux autres lampes par une quantité importante de lumière bleue émise.

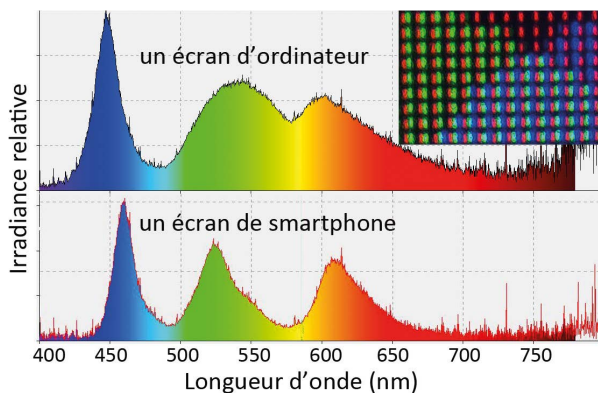
Pour comprendre d'où vient ce pic intense dans le bleu, il faut se pencher sur le fonctionnement des LEDs, qui fait appel à la physique des semi-conducteurs [5]. Pour simplifier, on peut dire qu'une LED (Light Emitting Diode) réalise l'opération inverse d'un panneau solaire : on injecte un courant électrique et on récupère de la lumière. Le courant est injecté dans une jonction entre deux semi-conducteurs ayant des dopages différents (jonction p-n) et ce sont les recombinaisons radiatives entre les électrons et les « trous » qui produisent l'émission de lumière. Suivant la largeur en énergie de la bande interdite du semi-conducteur où se produisent ces recombinaisons, la lumière obtenue peut être par exemple de couleur bleue, verte ou rouge. La largeur du pic d'émission est reliée à la température. C'est la mise au point dans les années 1990 de LEDs bleues à forte luminosité [6] qui a permis l'entrée en force des LEDs dans le marché de l'éclairage domestique. En effet, il devenait possible de transformer une partie de cette lumière bleue en lumière jaune à l'aide d'un composé fluorescent (rappelons que la fluorescence permet de transformer un photon de haute énergie en photon de basse énergie, donc de passer des courtes aux grandes longueurs d'onde, mais pas l'inverse) et d'obtenir ainsi par synthèse additive une lumière blanche intense. Cette technologie est aujourd'hui la plus couramment utilisée et correspond bien au spectre mesuré avec notre lampe torche. Nous avons comparé les spectres de différentes lampes à LEDs à notre disposition (cf. figure 3, page ci-contre) : une LED de lampe torche bon marché, deux ampoules à LED dites « blanc neutre » et « blanc chaud ». Nous retrouvons sur tous les spectres un pic bleu centré autour de 450 nm, mais son intensité (relativement au reste du spectre) varie considérablement d'une lampe à l'autre, une partie plus ou moins importante de ce pic étant transférée vers les grandes longueurs d'onde (à l'aide

de composés fluorescents) afin de rendre la lumière plus ou moins « chaude ». Notons au passage l'incohérence entre la dénomination « blanc chaud » et « blanc froid », qui se réfère aux couleurs rouge, orange et jaune du feu et au bleu de la glace, et la température de couleur liée à l'émission thermique, qui dit au contraire qu'un objet émettant une lumière rougeâtre est plus froid qu'un objet émettant une lumière bleutée. Cette contradiction entre une référence culturelle et un fait scientifique mène à des indications sur les emballages des LEDs qui peuvent sembler aberrantes : « blanc chaud 3000 K », « blanc froid 5000 K »...



**Figure 3** - Spectres d'émission de différentes lampes à LED et photographie des faisceaux de deux lampes torches à LED, « blanc froid » et « blanc chaud », devant une feuille de papier blanche.

Enfin, nous avons mesuré les spectres d'émission de différents écrans lumineux (ordinateurs, smartphones) et nous avons retrouvé sur chacun d'eux un pic de lumière bleue, dont le maximum est toujours proche de 450 nm, associés à des pics plus larges centrés sur les zones verte et orange-rouge du spectre. Ceci s'explique par le fait que la plupart des écrans utilisent aujourd'hui comme source de lumière des LEDs blanches, dont la lumière traverse des filtres rouges, verts et bleus de très petite taille (invisibles à l'œil nu). Ces paquets de trois filtres constituent les pixels de l'écran. Dans les écrans dits LCD (Liquid Crystal Display), des cristaux liquides permettent de piloter électriquement l'intensité de la lumière émise devant chacun des filtres, ce qui permet de reproduire par mélange optique [7] (synthèse additive) l'ensemble des couleurs. Les mesures de spectres peuvent être associées à l'observation des pixels, par exemple à l'aide d'un microscope USB [8], comme le montre la figure 4 (cf. page ci-après).



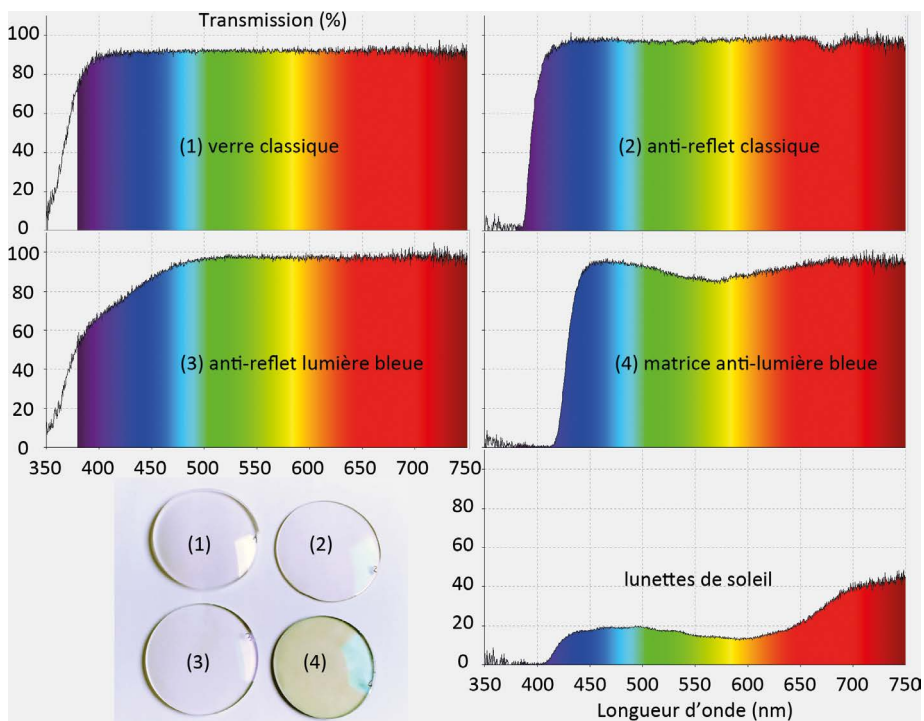
**Figure 4** - Spectres d'émission d'un écran d'ordinateur portable et d'un smartphone, dans une zone blanche, et image des pixels d'un écran d'ordinateur portable prise avec un microscope USB visant une zone colorée (jaune, rouge, magenta, blanche).

### 3. QUELS SONT LES EFFETS DES TRAITEMENTS ANTI-LUMIÈRE BLEUE DES VERRS DE LUNETTES ?

On peut ensuite utiliser un spectromètre pour étudier l'effet sur la lumière des traitements anti-lumière bleue proposés par les opticiens. Nous avons travaillé avec différents types de verre que nous a donnés un opticien : un verre classique (n° 1), un verre avec traitement antireflet classique (n° 2), un verre avec antireflet lumière bleue (n° 3) et un verre avec matrice anti-lumière bleue (n° 4, teinté dans la masse, traitement censé être le plus performant contre la lumière bleue). Pour comparaison, nous avons également effectué des mesures sur des lunettes de soleil. On pourra bien évidemment aussi travailler avec les lunettes de ses élèves.

Les opticiens conseillent le port de lunettes anti-lumière bleue essentiellement pour protéger des effets nocifs de la lumière des écrans. Or quand on regarde un écran lumineux de face, c'est essentiellement la lumière transmise à travers le verre de lunette qui entre dans nos yeux. Nous nous sommes donc uniquement intéressés aux effets des verres sur la lumière transmise, et non sur la lumière réfléchi. Habituellement quand on mesure un spectre de transmission en TP, on utilise comme source une lampe halogène, mais on peut voir sur la figure 2 que ce n'est pas le meilleur choix si on s'intéresse particulièrement à la transmission dans le bleu-violet voire le proche ultraviolet : nous avons préféré utiliser la lumière du jour, en visant directement le ciel (gris le jour de l'expérience) avec la fibre optique de notre spectromètre. Voici donc notre protocole de mesure : la fibre optique du spectromètre est fixée de façon à viser une zone du ciel, le temps d'intégration du spectromètre réglé de façon à obtenir un signal convenable (quelques dizaines de millisecondes). Après avoir inséré un objet opaque

devant la fibre, on mesure un spectre d'obscurité qui sera soustrait de chaque mesure ultérieure (cette correction, que permet le logiciel de notre spectromètre, est utile ici surtout pour les mesures dans le proche ultraviolet, où le signal capté à travers les verres est très faible). On mesure ensuite un spectre de référence, sans rien entre la fibre et le ciel. Puis on intercale immédiatement (pour que la luminosité du ciel ne varie pas trop entre deux mesures !) le verre à mesurer au plus près de l'entrée de la fibre, de façon à ce que sa vergence ait peu d'effet sur la quantité de lumière captée. Le logiciel du spectromètre calcule le rapport de ces deux spectres (après avoir retiré de chacun le spectre d'obscurité). Nous pensons que nos mesures sont significatives jusqu'à près de 350 nm, en dessous le spectre de transmission est très bruité car le très faible signal capté est comparable au signal d'obscurité. Les résultats sont rassemblés sur la figure 5.

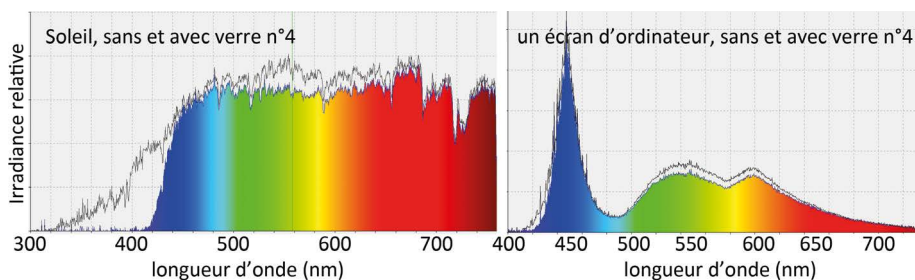


**Figure 5** - Spectres de transmission de différents verres de lunettes proposés à la vente chez un opticien, et d'une paire de lunettes de soleil.

Ces mesures appellent plusieurs commentaires. Tout d'abord, chacun des verres testés ici coupe assez efficacement les proches ultraviolets (350–400 nm) : on ne bronze pas à travers une vitre ! Ensuite, on vérifie l'efficacité du traitement antireflet

classique : la transmission du verre n° 2 est proche de 100 % sur l'ensemble du spectre visible, alors que le verre n° 1 ne transmet qu'environ 90 % de la lumière incidente, en cohérence avec un coefficient de réflexion sur chacun des deux dioptrés air-verre  $R = \left[ \frac{1-n}{1+n} \right]^2 \approx 4\%$  si on considère un indice  $n \simeq 1,5$  pour le verre. Intéressons-nous à présent à la zone du « bleu », pour laquelle il existe des différences notables suivant le traitement des verres que nous avons étudiés : le verre avec la matrice anti-lumière bleue (n° 4) coupe très efficacement les longueurs d'onde en dessous d'environ 430 nm, mais a une transmission quasi identique au verre classique aux alentours de 450 nm (nous parlerons plus loin, au paragraphe 4, de la faible diminution de transmission autour de 570 nm). Le verre avec un traitement antireflet lumière bleue (n° 3) atténue les longueurs d'onde en dessous de 500 nm, mais assez faiblement (transmission de 70 % à 400 nm contre 90 % pour un verre classique). Ces traitements restent en tous cas beaucoup moins efficaces du bleu au proche ultraviolet que ceux des verres de lunettes de soleil.

Mais c'est en comparant ces spectres de transmission aux spectres d'émission des sources lumineuses courantes que nous devons juger l'efficacité des différents verres sur la lumière bleue. Plus explicitement, on peut comparer le spectre d'émission d'une source lumineuse mesuré directement à celui mesuré derrière un verre (cf. figure 6) et regarder si une part importante de la lumière bleue émise par la source est « arrêtée » par le verre. On voit qu'avec les sources naturelles riches en lumière « bleue » de moins de 430 nm, comme le Soleil ou le ciel bleu, le traitement anti-lumière bleue est efficace, même si la partie au-delà de 450 nm est transmise pratiquement à l'identique. Avec les lampes à LED et les écrans lumineux (à LED aussi), l'efficacité semble beaucoup moins prononcée : seul le pied du pic du côté des courtes longueurs d'onde est significativement affecté, alors que le maximum du pic est réduit au mieux de 10 % (pour un pic centré sur 450 nm). Dans le cas du tube fluorescent, les spectres de transmission de la figure 5 montrent que le traitement anti-lumière bleue coupera très efficacement le



**Figure 6** - Spectres d'émission du Soleil (ici en fin d'après-midi) et d'un écran lumineux, sans (courbe en noir) et à travers un verre traité anti-lumière bleue (n° 4, courbe qui délimite le spectre coloré).



pic d'émission du mercure à 405 nm, déjà très peu intense, et réduira significativement le pic à 436 nm.

#### 4. DISCUSSION

Avant d'utiliser ces mesures pour discuter de l'efficacité des verres anti-lumière bleue pour la protection de nos yeux, présentons les principaux effets de la lumière bleue sur la santé. Il y a essentiellement deux effets évoqués, chacun associé à une partie différente de la lumière «bleue» : les longueurs d'onde inférieures à 450 nm (donc plutôt bleu-violettes) seraient responsables d'un vieillissement prématuré de la rétine, notamment *via* le stress oxydatif ; les longueurs d'onde supérieures à 450 nm (bleu-cyan) auraient un impact sur la régulation du rythme veille-sommeil, associé à l'absorption de la lumière par un pigment, la mélanopsine, présent dans certaines cellules ganglionnaires de la rétine, qui a chez l'homme un pic d'absorption proche de 480 nm [9-10]. Les documents d'information publiés par certains fabricants de verres de lunettes parlent habilement de lumière bleue «nocive» en dessous de 450 nm, et de lumière bleue «essentielle» (pour le réveil la journée, mais nuisible à l'endormissement) entre 450 nm et 500 nm, arguant que les traitements anti-lumière bleue laissent passer la lumière bleue «essentielle» importante pour réguler notre rythme veille-sommeil, tout en filtrant la lumière bleue «nocive» pour notre rétine [11].

Cela correspond bien à ce que nous avons mesuré avec notre verre traité anti-lumière bleue, même si le filtrage de la lumière «nocive» n'est véritablement efficace qu'en dessous de 430 nm. Mais dans les communications destinées au grand public comme dans les spots de publicité, c'est la protection contre la lumière bleue des écrans qui est mise en avant : «la solution idéale contre la lumière bleue émise par les écrans» pour ne citer qu'un exemple. Or nos mesures montrent que, si notre verre traité modifie de manière significative la lumière «nocive» émise par les sources naturelles (Soleil, ciel bleu...) riches en courtes longueurs d'onde, l'essentiel du pic de lumière bleue émis par les LEDs est transmis, la partie «nocive» comme la partie «essentielle» (pour un pic centré sur 450 nm, seul le bas du pic côté courte longueur d'onde est significativement rogné). Les opticiens ne devraient-ils pas nous vendre ces traitements de verre pour ce qu'ils sont, c'est-à-dire de très bons filtres susceptibles de nous protéger des méfaits de la lumière du Soleil aux courtes longueurs d'onde, plutôt que comme une protection miraculeuse contre les méfaits de la lumière bleue des écrans, sur laquelle ils semblent relativement peu actifs ? Aussi, on ne voit pas comment de tels verres pourraient réduire des troubles du sommeil liés à un excès de lumière bleue «essentielle» le soir, puisque cette lumière n'est pas ou peu filtrée.

Signalons que le cristallin des adultes filtre naturellement beaucoup plus efficacement la lumière bleue que celui des jeunes enfants, comme le montre la figure 7.

Ce sont donc certainement les enfants qu'il faut protéger en priorité des dangers de la lumière « bleue ». Et n'oublions pas non plus qu'au-delà de la longueur d'onde de la lumière émise, c'est aussi son intensité qui compte : pour évaluer la dangerosité de la lumière bleue des écrans, il faut la comparer à l'intensité que nous recevons des sources naturelles de lumière [12].

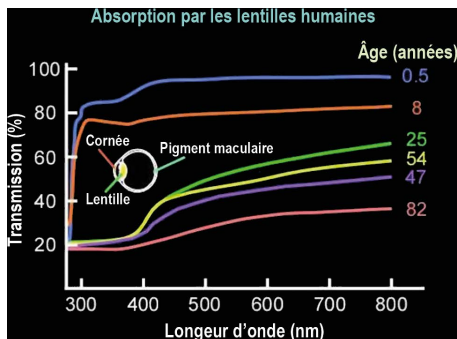
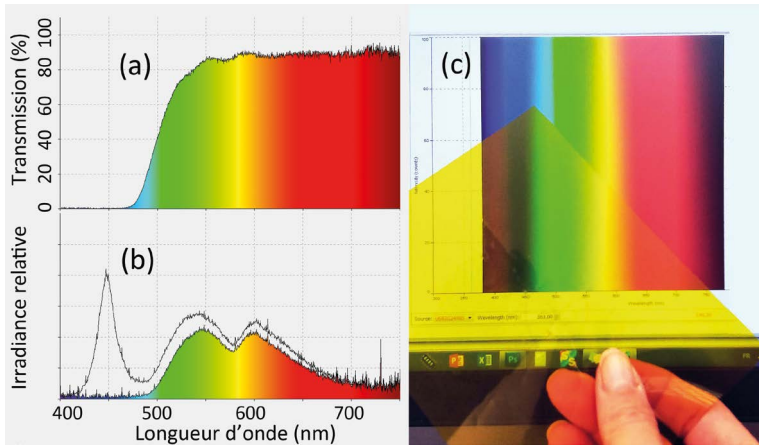


Figure 7 - Évolution de la transmission du cristallin avec l'âge [9].

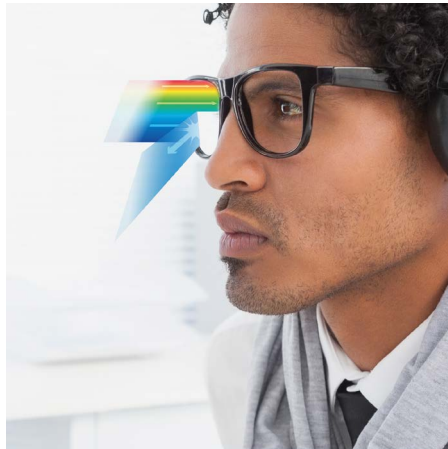
En regardant de plus près la communication des fabricants de verres de lunettes, on s'aperçoit qu'ils cherchent à résoudre une équation impossible : les verres ne doivent pas transformer les couleurs (argument publicitaire : « ne dénature pas les couleurs »), mais doivent réduire significativement la lumière bleue des écrans, ce qui n'est bien sûr pas possible ! En effet, si on retire le bleu de la lumière blanche on obtient une lumière de couleur jaune [13]. Pour présenter les choses de façon un peu caricaturale, nous montrons sur la figure 8 (cf. page ci-contre) comment supprimer très efficacement le pic de lumière bleue des LEDs : il suffit d'utiliser un filtre jaune ! Problème : à travers ce filtre la plupart des couleurs sont fortement modifiées. Ce n'est peut-être pas gênant pour des lunettes de soleil pour le ski, mais ça l'est pour un usage quotidien.

On peut d'ailleurs voir sur le spectre de transmission du verre avec matrice anti-lumière bleue que nous avons testé (n° 4 figure 5) comment les fabricants cherchent à recréer l'équilibre des couleurs : ce verre absorbe le bleu-violet, mais également un peu dans la région du jaune, ce qui par synthèse additive revient à enlever du blanc [14]. Sur la photo de la figure 5, où les verres testés ont été posés sur une feuille blanche, on voit que le verre n° 4 a en effet une légère teinte jaune et qu'il est aussi un peu plus sombre que les autres.

Notons que certains verres de lunettes proposés à la vente sont vraiment jaunes, ce qui est un signe de leur efficacité sur la lumière bleue. Par contre, une image comme celle de la figure 9 (cf. page ci-contre) pose question : comment les verres portés par cet homme peuvent-ils réfléchir entièrement la lumière bleue tout en étant incolores, c'est-à-dire en transmettant intégralement le spectre visible ?



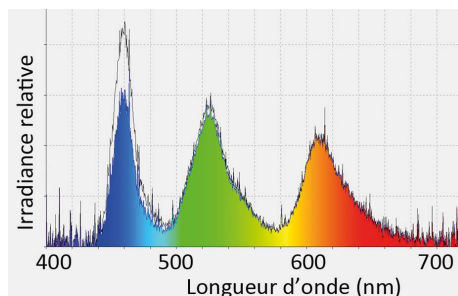
**Figure 8** - Effet d'un filtre jaune : (a) spectre de transmission du filtre ; (b) effet du filtre sur le spectre d'émission d'un écran lumineux à LED ; (c) photo du filtre devant un écran d'ordinateur affichant les couleurs d'un spectre.



**Figure 9** - L'impossible équation des fabricants de verres de lunettes : couper la lumière bleue avec des verres incolores.

L'utilisation de lunettes n'est pourtant pas la seule solution pour réduire la lumière bleue des écrans. L'intensité émise par chacune des trois composantes colorée (rouge, verte et bleue) de chaque pixel étant commandée indépendamment, il est possible de modifier directement la quantité de lumière bleue émise par un écran. Certaines applications pour ordinateurs le proposent, comme l'application gratuite « F Lux » dont le site internet <https://justgetflux.com/> (en anglais) regroupe des ressources intéressantes

(spectres d'émission d'un très grand nombre d'écrans, références d'articles scientifiques sur les effets sur la santé de la lumière bleue). La figure 10 montre l'effet d'une de ces applications, souvent installées aujourd'hui par défaut sur les smartphones. L'écran prend alors une couleur jaunâtre (l'application fait l'effet d'un filtre jaune, cette fois-ci numérique et non optique), le rendu des couleurs est significativement affecté. Même si on s'y habitue cela peut poser problème pour certaines utilisations, par exemple la prise ou le traitement de photographies destinées à être observées sur un autre écran qui ne disposerait pas du même réglage. L'avantage d'un filtre numérique est qu'on peut facilement modifier son intensité pour être en phase avec le cycle veille-sommeil : la lumière bleue « essentielle », susceptible de gêner l'endormissement, peut être réduite davantage en fin de journée.

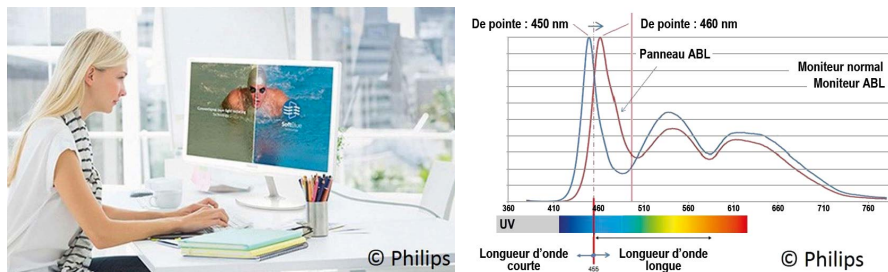


**Figure 10** - Effet de l'application « filtre bleu » sur un smartphone : spectre d'émission d'une zone blanche de l'écran, sans et avec ce filtre numérique.

Pour limiter la quantité de lumière bleue « nocive », une solution choisie par certains fabricants d'écrans consiste à décaler légèrement vers les grandes longueurs d'onde la position du pic de lumière bleue émis par les LEDs (c'est possible en jouant sur la composition du semi-conducteur où se produit la recombinaison radiative électron-trou). À en croire la communication d'un fabricant d'écrans européen, spectres d'émission à l'appui, en déplaçant ce pic de 450 nm à 460 nm on réduirait la quantité de lumière bleue « nocive » (en dessous de 450 nm) de 90 %, sans déformer trop les couleurs (cf. figure 11, page ci-contre). Par contre, les éventuels troubles du sommeil ne seront pas atténués par ces écrans, bien au contraire, car le pic d'émission se rapproche du maximum de sensibilité de notre cycle veille-sommeil, centré sur 480 nm.

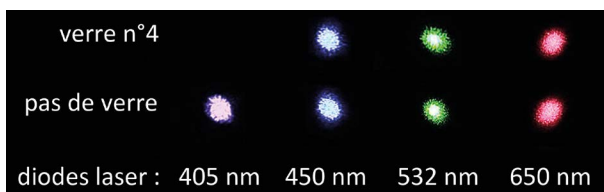
Insistons également sur le fait que la technologie des LED bleues, aujourd'hui dominante sur le marché, pourrait être remplacée par d'autres dans un futur proche. Des alternatives sont à l'étude, notamment celle de LEDs émettant un pic dans le proche ultraviolet et dont la lumière serait transformée en « blanc » par un luminophore à large bande [16]. La répartition des longueurs d'onde dans de telles sources de lumière serait significativement différente de celle décrite dans notre article, ce qui obligerait à revoir

nos conclusions sur l'efficacité de nos verres pour un usage sur écran.



**Figure 11** - Les arguments publicitaires d'un fabricant européen ayant développé des écrans dont le pic de lumière bleue est décalé à 460 nm [15]. La photo compare le rendu des couleurs avec un écran « classique » équipé d'un filtre anti-lumière bleue (à gauche) et leur procédé (à droite).

Pour terminer, nous voulons ici rapporter la « démonstration » qui nous a été proposée, en toute honnêteté, par un opticien pour justifier l'efficacité de ses traitements anti-lumière bleue : alors qu'il dirigeait un pointeur laser vers un mur blanc, y laissant une tache de lumière d'un beau bleu, il montre facilement que cette tache est entièrement éliminée par l'ajout du verre traité, alors qu'elle n'est presque pas atténuée par le verre classique. La démonstration serait donc faite que le verre traité coupe efficacement la lumière bleue, alors même que celui-ci est quasi incolore ? Par quelle magie l'équation impossible serait-elle donc résolue ? C'est oublier que la peinture blanche des murs contient des azurants optiques, substances fluorescentes capables de transformer une couleur en une autre, en l'occurrence ici le violet-ultraviolet en bleu ! (c'est d'ailleurs grâce à cet effet qu'on produit de la lumière blanche dans les LEDs et les tubes fluo, comme rappelé au paragraphe 2.). En pointant le laser vers une surface sans azurant, nous avons pu vérifier que son faisceau est bien violet. Il est même limite ultraviolet, comme le confirme l'indication de sa longueur d'onde sur son étiquette : 405 nm, longueur d'onde en effet largement filtrée par le traitement anti-lumière « bleue » (figure 5, verre n° 4). L'expérience mérite d'être faite en classe si vous disposez d'un laser adéquat, ce qui amènera sans doute des discussions intéressantes avec vos élèves quant au risque de conclusion trop hâtive face au résultat d'une expérience. Il peut être



**Figure 12** - Effet d'un verre anti-lumière bleue (n° 4) sur les faisceaux de différentes diodes laser (observés sur une surface non fluorescente).

intéressant d'aller questionner votre opticien pour entendre (et voir) quels arguments il vous donnera pour vous convaincre de l'efficacité de ses verres anti-lumière bleue.

## CONCLUSION

### *Un sujet de choix pour des travaux pluridisciplinaires au lycée*

Nous espérons vous avoir convaincu de la richesse de ce sujet, idéal pour mener des activités pratiques avec des élèves. Les mesures de spectrométrie sont relativement faciles à réaliser et le matériel nécessaire existe souvent au lycée. La compréhension du sujet fait appel à des connaissances en physique (spectre de la lumière, fonctionnement d'un spectromètre, spectres d'émission et de transmission...), en biologie (modèle de l'œil, vision des couleurs...) et en technologie (principes de fonctionnement de différentes lampes, des écrans lumineux...). Enfin, ce peut être l'occasion pour les élèves de réfléchir à des questions de société en jetant un œil critique sur les communications des médias et les publicités.

## AVERTISSEMENT

Nous tenons à préciser que nos mesures ne sont qu'un exemple de résultats, obtenus avec un certain type de verres et de sources ou écrans lumineux. D'autres résultats sont possibles et nous laissons au lecteur le soin de tester ce qu'il a sous la main.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Virginie Laurent-Gydé, maître de conférences à l'Université de Strasbourg et qui effectue ses recherches à l'Institut des neurosciences cellulaires et intégratives (INCI), pour ses apports précieux concernant les effets de la lumière bleue sur la santé. Nous remercions également les opticiens qui nous ont reçus et donné les échantillons de verres pour nos tests, faisant preuve de curiosité et de bienveillance face à notre intérêt scientifique pour ce sujet.

## BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

**NB** : Cette étude faisant partie d'un travail plus large que nous menons sur le thème de la couleur, plusieurs références de cet article proviennent de notre site internet 123 Couleurs.

- [1] <https://www.clubic.com/telephone-portable/actualite-807830-jeunes-16-24-ans-passent-4h-moyenne-telephone.html>

- [2] Page «Expérience → Vision → Photographier un arc-en-ciel ou un spectre» du site Internet 123 Couleurs : <https://www.123couleurs.fr/>
- [3] D. Barchiesi, «Simulations d'expériences faisant intervenir la couleur : dispersion par un prisme et réflectance», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 102, n° 909 (1), p. 1369-1382, décembre 2008.
- [4] Page «Explications → Matière → Les couleurs de diffusion» du site Internet 123 Couleurs : <https://www.123couleurs.fr/>
- [5] N. Grandjean, «Les LED blanches, l'éclairage de demain», *Pour la Science*, n° 421, p. 32, novembre 2012.
- [6] Prix Nobel de Physique 2014, « For the invention of efficient blue light-emitting diodes which has enabled bright and energy-saving white light sources » I. Akasaki, H. Amano, S. Nakamura.
- [7] Page «Expériences → Vision → Les mélanges optiques» du site Internet 123 Couleurs : <https://www.123couleurs.fr/>
- [8] Page «Expériences → Lumière → Les écrans lumineux à la loupe» du site Internet 123 Couleurs : <https://www.123couleurs.fr/>
- [9] Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), rapport collectif, «Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED)», octobre 2010. Consultable en ligne : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2008sa0408.pdf>
- [10] T.A. LeGates, D.C. Fernandez and S. Hattar, "Light as central modulator of circadian rhythms, sleep and affect", *Nature Reviews*, vol. 15, p. 443, 2014.
- [11] C. Barrau, A. Kudla et M. Tessieres, «Les verres eye protect system<sup>TM</sup> : de la recherche au filtrage de la lumière nocive», livre blanc publié dans *Points de vue*. Publication en ligne, International review of ophthalmic optics, 2016 : <http://www.pointsdevue.com/sites/default/files/eye-protect-system-lenses-livreblanc2.pdf>
- [12] J.B. O'Hagan, M. Khazova and L.L.A. Price, "Low-energy light bulbs, computers tablets and the blue light hazard", *Eye*, n° 30, p. 230, 2016.
- [13] Page «Explications → Matière → Les couleurs chimiques» du site Internet 123 Couleurs : <https://www.123couleurs.fr/>
- [14] Page «Explications → Lumière → La synthèse additive» du site internet 123 Couleurs : <https://www.123couleurs.fr/>
- [15] Images extraites de la communication du groupe Philips sur sa technologie «Soft-Blue».

[16] P. Bruner, « Nouvelle génération de luminophores pour l'éclairage par LED », thèse de l'Université Grenoble Alpes, 2016.

Consultable en ligne : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01599959/document>



**Sylvie ZANIER**  
*Professeure agrégée de physique*  
Université Grenoble Alpes  
Grenoble (Isère)



**Julien DELAHAYE**  
*Chercheur CNRS*  
Institut Néel  
Grenoble (Isère)