

Titres des mémoires combinés de trois experts dans leur domaine:

L'EFFET DES ÉCRANS ET DE L'ENVIRONNEMENT SCOLAIRE, INCLUANT LES TABLEAUX INTELLIGENTS, SUR LE DÉVELOPPEMENT VISUEL ET L'APPRENTISSAGE DES ENFANTS

Auteur : Dr Langis Michaud, optométriste, Professeur Titulaire, Université de Montréal

Coordonnées : École d'optométrie de l'Université de Montréal, 3744 Jean-Brillant, suite 190-11

Montréal, QC, H3T 1P1

Tél : 514 343 6111, poste 8945

Courriel : Langis.michaud@umontreal.ca

Site: <https://orcid.org/0000-0002-0192-7487>

Volets dans lequel le mémoire s'inscrit* : Le développement global des enfants (2 à 12 ans) Les volets psychologique et social (jusqu'à 25 ans) Le volet physique (jusqu'à 25 ans) Les volets de l'environnement, du travail et des loisirs (jusqu'à 25 ans)

LA TOXICITÉ POTENTIELLE DE LA LUMIÈRE HEV (BLEUE) DES APPAREILS ÉLECTRONIQUES POUR LES YEUX

Auteur : Dr Patrick Rochette, Ph. D. Professeur Agrégé, Université Laval

Coordonnées : Hôpital Saint-Sacrement, 1050, chemin Sainte-Foy, CUO-Recherche,

Québec, QC, G1S 4L8

Tél : 418-682-7568

Courriel : Patrick-j.rochette@crchudequebec.ulaval.ca

Site: <http://www.crchudequebec.ulaval.ca/recherche/chercheurs/patrick-j-rochette/>

Volets dans lequel le mémoire s'inscrit* : Le développement global des enfants (2 à 12 ans) Les volets psychologique et social (jusqu'à 25 ans) Le volet physique (jusqu'à 25 ans) Les volets de l'environnement, du travail et des loisirs (jusqu'à 25 ans)

L'IMPACT DE L'UTILISATION EN SOIRÉE DES ÉCRANS SUR L'HORLOGE BIOLOGIQUE ET LE SOMMEIL

Auteur : Dr Marc Hébert, Ph. D. Professeur Titulaire, Université Laval

Coordonnées : Centre de recherche CERVO, 2601 de la Canardière,

Québec, QC, G1J 2G3

Tél : 418 663 5000, poste 4765

Courriel : Marc.hebert@fmed.ulaval.ca

Site: <https://cervo.ulaval.ca/en/marc-hebert>

Volets dans lequel le mémoire s'inscrit* : Le développement global des enfants (2 à 12 ans) Les volets psychologique et social (jusqu'à 25 ans) Le volet physique (jusqu'à 25 ans) Les volets de l'environnement, du travail et des loisirs (jusqu'à 25 ans)

PRÉAMBULE

Au cours de la dernière décennie nous avons vu croître de façon exponentielle les nouvelles technologies composées d'écrans avec diodes électroluminescentes (DEL). Ces technologies, allant du téléviseur au téléphone intelligent, en passant par les ordinateurs portables et les tablettes électroniques, sont devenues de plus en plus accessibles et se retrouvent partout dans notre environnement que ce soit au travail, à l'école, à la maison dans notre salon et même la chambre à coucher. Leur plus grande accessibilité a aussi permis l'accès aux adolescents et jeunes enfants qui les utilisent tant au niveau scolaire que pour les loisirs, souvent de façon démesurée par rapport à leurs capacités physiques et psychologiques. Or, les recherches qui commencent à être publiées sur ce sujet font apparaître des signaux d'alerte, nous indiquant que ces technologies pourraient être associées à des impacts négatifs sur la santé visuelle et globale. L'exposition accrue à lumière bleue-violet, aussi appelée lumière visible à haute énergie (High-Energy Visible light; HEV) projetée par ces appareils a été identifiée comme facteur de risque et ce, davantage dans le contexte de la luminosité ambiante et l'environnement dans lequel évolue l'enfant et le jeune adulte, lors de la consultation de médias électroniques. Il existe également des inquiétudes quant à un stress visuel important, lié à leur utilisation à une distance des yeux rapprochée et pendant de longues périodes.

Le présent mémoire combine l'opinion de trois experts s'exprimant sur trois impacts négatifs possibles de ces technologies chez les enfants et les jeunes adultes. Ces trois volets sont : 1) l'effet des écrans et de l'environnement scolaire, incluant les tableaux intelligents, sur le développement visuel et l'apprentissage des enfants, présenté par le Dr Langis Michaud, optométriste, 2) la toxicité potentielle de la lumière HEV (bleue) des appareils électroniques pour les yeux, présentée par Dr Patrick Rochette, Ph. D. et 3) l'impact de l'utilisation en soirée des écrans sur l'horloge biologique et le sommeil, présenté par le Dr Marc Hébert, Ph. D. Docteur Michaud est professeur à l'École d'Optométrie de l'Université de Montréal. Les docteurs Rochette et Hébert sont tous deux professeurs au département d'ophtalmologie et d'ORL-chirurgie cervico-faciale de l'Université Laval.

L'EFFET DES ÉCRANS ET DE L'ENVIRONNEMENT SCOLAIRE, INCLUANT LES TABLEAUX INTELLIGENTS, SUR LE DÉVELOPPEMENT VISUEL ET L'APPRENTISSAGE DES ENFANTS

Auteur : Dr Langis Michaud, O.D. M.Sc. – Professeur Titulaire– Université de Montréal

1.0 Introduction

L'œil humain est un organe complexe, doté d'une précision d'horloger suisse, qui assure notre rapport avec le monde extérieur et notre apprentissage en tant qu'humain. Chez les personnes voyantes, 80% de ce que l'on apprend passe par les yeux (1). Au plan neurologique, l'importance du sens de la vision est manifeste : près de 50% des neurones du cortex sont dédiés à l'interprétation des signaux visuels (2), comparativement à 8% pour le toucher et 3% pour l'audition.

2.0 Le développement de l'œil humain

La vision se développe par stimulation et ne devient mature qu'après quelques années. Le bébé naissant n'a donc qu'une capacité réduite de vision, se limitant à la perception de plages lumineuses grossières. Cependant, très rapidement, à mesure que l'exposition à la lumière naturelle du jour augmente, le système nerveux oculaire se développe et permet au bébé d'être attiré par les couleurs vives, puis de percevoir des formes de plus en plus complexes placées devant lui (3). À 2 ans, il atteint la vision normale, en autant que les deux yeux aient été stimulés normalement durant cette période (4).

Suivra ensuite une lente période de développement de la vision binoculaire, soit une étape cruciale permettant une coordination de la vision des deux yeux (5). Cette étape est essentielle pour toutes les activités de décodage et d'apprentissage. En effet, les yeux doivent apprendre à coordonner leurs mouvements pour fixer au même endroit précis, au même moment, et bouger de façon similaire. En marge de cette organisation nerveuse qui se complète vers l'âge de 8 à 10 ans (6), l'œil grandit à mesure que la croissance physique de l'enfant se poursuit. Cela implique que l'œil s'allonge. Cet allongement serait immédiatement associé à un embrouillement s'il n'était pas compensé automatiquement par un changement des autres structures oculaires : c'est le phénomène de l'emmétropisation.

2.1 Facteurs d'influence et conséquences de l'emmétropisation

Le processus de l'emmétropisation vise à maintenir une vision normale à mesure que l'œil grandit. Si il y a un défaut dans ce processus, il y a aura automatiquement une perte de la vision nette, soit à distance (myopie), soit au près (hypermétropie) ou aux deux endroits. Une fois la myopie installée, l'emmétropisation ne peut pas être restaurée et avec la croissance continue, de même qu'en raison d'autres facteurs optiques et environnementaux, la myopie va progresser (7).

3.0 Impact des écrans sur le phénomène d'emmétropisation et de myopisation

Comme nous venons de le mentionner, plusieurs facteurs, autres que liés à la croissance naturelle de l'œil, peuvent générer et contribuer au développement et à la progression de la myopie. Ces aspects seront analysés en fonction du développement visuel de l'enfant mais également du jeune adulte.

3.1 Luminosité des écrans et d'ambiance

Les écrans et les tablettes émettent de la lumière visible. Dans cette frange, les rayons de longueurs d'onde plus courtes (400-495 nm) ont fait l'objet de débat quant à leur potentiel effet négatif sur le système visuel et de façon particulière, celles potentiellement toxique (8), soit situées entre 415 et 455 nm. Ces longueurs d'onde sont présentes dans les appareils électroniques utilisant la technologie OLED mais sont également associées aux éclairages modernes, favorisés en raison de

leur aspect positif quant à l'économie d'énergie, soit les lumières de type à LED (en anglais, pour light emitting diodes) ou DEL (en français, pour diodes électroluminescentes).

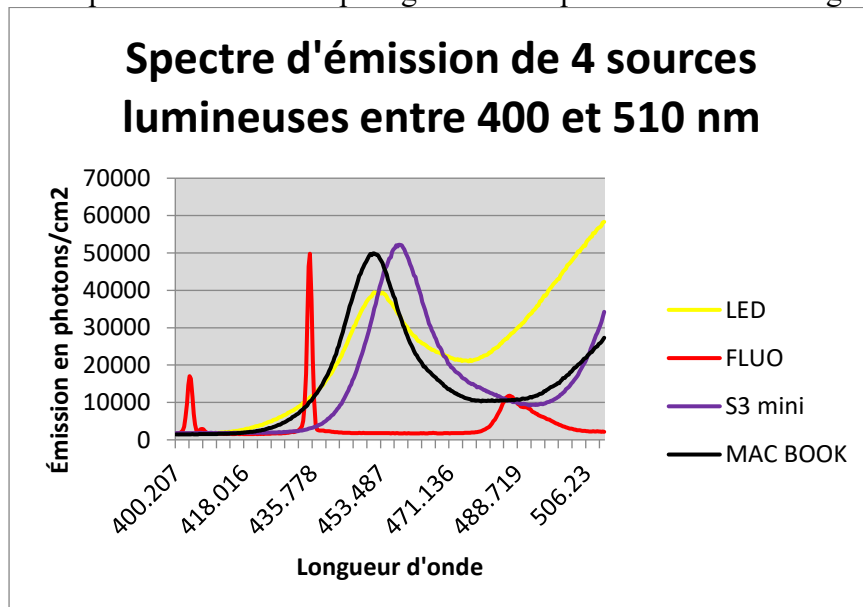
3.1.1 Les effets potentiels de la lumière DEL

Dès 2001, des travaux effectués sur les singes soulèvent des inquiétudes quant à une exposition intensive aux lumières à DEL et ce, au plan de la santé oculaire (9). Il n'existe cependant aucune étude qui prouve l'effet de ces lumières à long terme.

3.1.2 Les écrans

Il existe trois types d'écrans, composés de sous-pixels rouge, verts et bleus juxtaposés : écran classique LCD, écrans LCD éclairés par DEL, écrans OLED. L'écran classique et LCD éclairés par DEL ont peu d'exposition à la lumière bleue, par leur composition. Dans l'écran OLED (téléphones modernes), chaque pixel devient sa source et émet sa propre lumière. La quantité de lumière potentiellement toxique émise est faible comparativement à un éclairage ambiant au DEL. Par contre, en théorie, plus la distance d'observation est rapprochée et plus le temps d'exposition est long, plus important peut être le dommage encouru au plan visuel (8).

Le graphique d'émission de produits électroniques et d'éclairage (MacBook = tablette, s3mini = téléphone avec écran OLED) (10) est reproduit ici pour une meilleure compréhension. Les pics d'émission des appareils électroniques sont comparables aux émissions reliées à la lumière DEL classique et couvrent une plus grande aire que celle d'un éclairage fluo-compact.



Outre les effets potentiels sur la santé oculaire, (discutés après par le Dr Rochette), l'exposition aux courtes longueurs d'onde est associée à une perturbation visuelle principalement causée par la dispersion lumineuse. Ainsi, la lumière à 400 nm disperse 7.2X plus qu'à 656 nm. De façon concrète, cela crée un voile lumineux qui diminue le contraste des objets visualisés. Ce voile stimule aussi les voies nerveuses responsables de la photophobie (11). Cette gêne visuelle crée une asthénopie (fatigue visuelle) à l'utilisateur, une perte d'attention et cause éventuellement des symptômes oculaires identifiés sous le nom de « computer vision syndrome »(12). Cette atteinte est partiellement compensable avec une correction optique appropriée, mais les résultats ne sont pas statistiquement probants (13). De façon attendue, les symptômes augmentent avec le temps d'utilisation, notamment si les conditions ergonomiques ne sont pas optimales (distance de travail, éclairage ambiant, réflexions parasites, temps de pause requis non observés, posture, etc.) De plus,

l'usage prolongé des téléphones intelligents a été associé à une toxicité des cellules de surface de la cornée, de même qu'au développement de la sécheresse oculaire (14).

3.1.3 Distance d'observation

La distance normale de la lecture doit être celle de l'avant-bras, ce qui implique une moyenne de 40 cm chez l'adulte et de 33 cm chez l'enfant. Les tests cliniques évaluant la vision et la vision binoculaire s'opèrent de façon habituelle à 40 cm, en position de tête droite. Or, les utilisateurs d'écrans et de téléphones intelligents consultent les écrans à une distance beaucoup plus rapprochée, soit entre 18 et 30 cm, en position de tête penchée. Une telle distance plus rapprochée, et une position penchée, peuvent avoir des conséquences sur la performance visuelle. Une fatigue visuelle plus importante et des symptômes d'inconfort (CVS) plus marqués sont également notés chez les utilisateurs de téléphone intelligents (15).

3.1.4. Vision binoculaire

L'enfant développe sa vision binoculaire entre l'âge de 2 ans jusqu'à 8-10 ans. Les systèmes visuel et neurologique sont alors pleinement malléables et influençables par les stimuli externes. Il est établi que les enfants en bas âge sont exposés de façon importante aux médias électroniques. Une étude européenne identifie que, à 3 ans, 68% des enfants utilisent régulièrement un ordinateur et 54% sont actifs sur internet (16). À 9 ans, les enfants passent 3.6 heures par jour sur les écrans (17).

Ceci est d'une importance cruciale, puisque le système visuel de l'enfant, immature, est ainsi exposé à des stimulations très importantes au plan visuel, un effort qu'il ne peut pas souvent supporter, surtout s'il y a présence d'un problème de coordination visuelle ou d'accommodation. Entre 12 et 17% des enfants en sont atteints, soit un enfant sur 5 (18). C'est en ce sens que l'on peut potentiellement associer l'usage des écrans à la myopisation : de par l'effort accommodatif trop important pour le système visuel, à un moment du développement de l'enfant où le système est immature, ainsi qu'à l'exposition à un éclairage ambiant déficient (DEL et OLED) qui augmentent le stress visuel.

3.1.5 Autres facteurs

Les écrans émettent via des pixels de diverses couleurs. Or, ces longueurs d'onde différentes ne focalisent pas au même endroit dans l'œil : le bleu focalise en avant du vert et du rouge, en raison de longueurs d'onde plus courtes. Cet étalement de la couleur perçue s'appelle aberration chromatique. Ce phénomène peut entraîner une myopisation de l'œil (19).

Un autre facteur à considérer est l'absence de signaux d'arrêts lors de l'usage de tablettes électroniques. La lecture dans un livre régulier est ponctuée de signaux d'arrêts, dont la fin de chapitre est l'exemple le plus évident. Avec la tablette électronique, ces signaux d'arrêts n'existent pas, et l'utilisateur est constamment sollicité pour naviguer d'un sujet à l'autre ou d'un écran à l'autre, en fonction des messages qui apparaissent et qui l'interpellent (pop-up). Ainsi, le temps d'utilisation des écrans est difficilement contrôlable. Cette absence de temps de pause peut être préjudiciable pour le système visuel. Plusieurs organismes recommandent d'ailleurs de limiter le temps d'utilisation et de faire des pauses fréquentes (à toutes les 30 minutes). Il est connu que les symptômes visuels apparaissent tôt mais augmentent significativement après 2h d'usage des écrans (20).

3.1.6 Effets chez le jeune adulte

Les effets des écrans sur la vision ont été documentés chez des étudiants universitaires (21). Bien que leur système visuel soit bien développé et mature, les symptômes de fatigue oculaire, de sécheresse et l'effet optique de la myopisation ont été constatés (22), comme chez l'enfant. Bien que les mécanismes puissent être différents, les effets sont les mêmes. La réflexion sur l'usage des

écrans ne doit donc pas se limiter à la petite enfance mais bien englober une réflexion plus importante sur les effets potentiels tout au long des cycles d'études.

3.1.7 La myopie : facteur de risque de pathologie oculaire

Dans un rapport datant de 2015, l'Organisation mondiale de la Santé a indiqué que la myopie doit être considérée comme un facteur de risque important de pathologie oculaire pouvant entraîner la cécité (23). Elle constitue, par le fait même, un impératif de santé publique qui interpelle tous les professionnels de la santé ainsi que les autorités compétentes.

Ce rapport fait écho à la progression notée, durant les 20 dernières années, de la prévalence myopique à travers le monde, notamment le taux important d'accroissement des cas de fortes myopies (>5D) associées aux conséquences les plus néfastes au plan de la santé oculaire (24). On parle alors d'un risque accru de glaucome (3.5X), de cataractes à risque (5.5X), de déchirure rétinienne (x 21%) et de maculopathie, similaire à la dégénérescence maculaire humide (x 45%) (25).

4.0 Penser au-delà des écrans : aménager le milieu de vie scolaire

4.1 Demandes visuelles reliées à la classe

Certains pourraient croire que la seule demande visuelle rencontrée dans une classe de l'école primaire ou du secondaire est celle générée par la vision de loin, soit celle impliquée pour regarder le professeur ou le tableau. Or, ce qu'on exige des yeux, dans un environnement de classe, est beaucoup plus complexe.

Ainsi, la sensibilité aux contrastes, le contrôle adéquat des mouvements oculaires (en lecture, passage de la vision de près à la vision de loin, etc.), la capacité de faire la focalisation au près (accommodation) et la coordination des yeux (vision binoculaire) sont des requis essentiels à avoir afin de pouvoir effectuer le travail demandé durant une journée type d'école (26).

Ceci ne tient pas compte, cependant, de l'arrivée de la technologie dans les classes : ordinateurs, tablettes, tableaux interactifs, téléphones intelligents, etc. qui changent les demandes en vision de près et augmentent significativement les symptômes de fatigue et le stress visuels (20). Les enfants passent en moyenne 10% de leur temps scolaire en utilisant des appareils électroniques, à quoi doit s'ajouter toutes les activités faites à la maison ou durant les loisirs. Ce temps augmente évidemment avec l'âge. Le tout sera grandement influencé par les conditions environnantes : dimensions de la classe, éclairage direct, éclairage parasite (reflets, facteurs d'éblouissement), clarté du jour ambiante, etc.

Une étude menée par le Dr Benoît Frenette, optométriste, de l'Université de Montréal a prouvé que dans la plupart des classes visitées, les conditions d'éclairage étaient incompatibles avec les besoins visuels des enfants, notamment pendant l'utilisation des tableaux interactifs, où l'on doit fermer les lumières du plafond pour augmenter le contraste. Ceci est d'avantage problématique si l'enfant utilise lui-même une tablette électronique au même moment. Ainsi, seule 1/9 d'endroit dans la classe est exposé à un niveau de lumière adéquat. Les autres endroits sont déficients.

Ses recommandations étaient :

- utiliser l'éclairage naturel de façon adéquate et optimale ;
- créer des zones multiples d'éclairage artificiel dans les salles de classe ;
- permettre la modulation des zones d'éclairages par des moyens simples de rhéostats ;
- éviter des champs de visions adjacentes trop différentes en ce qui concerne la luminosité.

5.0 CONCLUSIONS

Les écrans, tablettes et téléphones intelligents n'ont pas un effet direct négatif sur la vision de l'enfant. Cependant, l'environnement de son utilisation (éclairage ambiant, distance d'observation et temps de consultation) peut avoir un effet négatif sur le développement du système visuel de l'enfant entre 2 et 10 ans, période critique de sa maturation. Un stress visuel important peut se développer causant ou augmentant un problème de coordination des yeux, le développement de sécheresse oculaire et d'autres anomalies visuelles. À terme, les conditions d'utilisation peuvent conduire à la myopisation, ce qui peut placer l'enfant à risque de pathologie oculaire dans l'avenir. Des moyens existent afin de limiter les effets négatifs de l'exposition aux écrans.

6.0 RECOMMANDATIONS

Considérant l'ensemble des études sur les effets connus à ce jour, et afin d'éviter les problèmes éventuels, une position conjointe de l'Association Canadienne des Optométristes et de la Société Canadienne d'ophtalmologie¹ permet de dégager des recommandations pour l'utilisation des écrans et téléphones intelligents chez les enfants

- 1) Aucune exposition autorisée entre 0 et 2 ans, à l'exception ponctuelle de video-chat avec des parents ou grands-parents et ce, sous supervision directe d'un adulte;
- 2) Une exposition d'une heure par jour au maximum, entre 2 et 5 ans. Les activités doivent favoriser le développement de l'enfant et il doit y avoir une interaction avec les parents.
- 3) Une exposition d'au plus 2h (temps de loisir, non relié aux études) entre 5 et 18 ans.
- 4) Observer une pause à toutes les 30 minutes, idéalement, impliquant de bouger et d'activer tout le corps. Le temps de la pause n'est pas spécifié mais doit être significatif.
- 5) Le poste de travail doit être ajusté ergonomiquement (hauteur, position de l'écran et du clavier, etc.)
- 6) Éviter l'usage d'ordinateur, écrans, 1h avant le sommeil.
- 7) Encouragement du temps passé à jouer dehors au lieu de consulter les écrans
- 8) Les enfants doivent être évalués périodiquement afin d'examiner la vision et la coordination des yeux, et établir les traitements appropriés en temps opportun. ²

À la lumière de l'argumentaire développé, nous pouvons ajouter

- 9) Privilégier un éclairage ambiant aux ampoules traditionnelles. Si des ampoules DEL sont utilisées, il faudrait que ce soit dans le spectre du blanc doux (2700K)
- 10) Limiter l'exposition aux écrans OLED
- 11) Adapter les classes et le milieu scolaire afin de limiter les effets négatifs de l'utilisation des technologies modernes sur la vision.

¹ <https://opto.ca/document/joint-position-statement-on-electronic-screen-time-for-children-under-12> consulté le 5 janvier 2020.

² En ce sens, le programme de dépistage actuel dans les écoles du Québec, en maternelle 4-5 ans, doit être maintenu et le message de l'importance de l'examen visuel périodique doit être diffusé durant toutes les années du primaire.

ANNEXE

Références:

1. Kovarski C. Les troubles visuels et l'apprentissage scolaire. Impact chez les adolescents et mise à jour sur l'évaluation clinique. Laboratoire Santé Individu et Société Université Lumière Lyon 2; 2015.
2. Hagen S. The Mind's Eye Rochester University of Rochester 2012 [Available from: https://www.rochester.edu/pr/Review/V74N4/0402_brainscience.html].
3. Boyd K, Lipsky SN. Baby's Vision Development: What to Expect the First Year: American Academy of Ophthalmology; 2017 [Available from: <https://www.aao.org/eye-health/tips-prevention/baby-vision-development-first-year>].
4. Orquin J. Le développement de la vue chez l'enfant: Naître et Grandir 2017 [Available from: https://naitreetgrandir.com/fr/etape/0_12_mois/developpement/fiche.aspx?doc=naitre-grandir-developpement-sens-vue#_Toc292208211].
5. Horwood AH. Typical and Atypical Development of Ocular Alignment and Binocular Vision in Infants – The Background: American Academy of Ophthalmology; 2019 [Available from: <https://www.aao.org/disease-review/typical-atypical-development-of-ocular-alignment-b>].
6. Braddick O, Wattam-Bell J, Day J, Atkinson J. The onset of binocular function in human infants. *Human neurobiology*. 1983;2(2):65-9.
7. Troilo D, Smith EL, 3rd, Nickla DL, Ashby R, Tkatchenko AV, Ostrin LA, et al. IMI - Report on Experimental Models of Emmetropization and Myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2019;60(3):M31-m88.
8. Renard G, Leid J. [The dangers of blue light: True story!]. *J Fr Ophtalmol*. 2016;39(5):483-8.
9. 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(1):137-47.
10. Frenette B. Éclairage, TBI, tablettes: comprendre leur impact afin d'adapter l'école et optimiser le rendement visuel des enfants. Conférence de l'Institut des Troubles de l'Apprentissage; 2017.
11. Mainster MA, Turner PL. Blue light's benefits vs blue-blocking intraocular lens chromophores. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2012;250(8):1245-6; author reply 7-8.
12. Loh K, Redd S. Understanding and preventing computer vision syndrome. *Malaysian family physician : the official journal of the Academy of Family Physicians of Malaysia*. 2008;3(3):128-30.
13. Heus P, Verbeek JH, Tikka C. Optical correction of refractive error for preventing and treating eye symptoms in computer users. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018;4:Cd009877.
14. Choi JH, Li Y, Kim SH, Jin R, Kim YH, Choi W, et al. The influences of smartphone use on the status of the tear film and ocular surface. *PLoS One*. 2018;13(10):e0206541.
15. Long J, Cheung R, Duong S, Paynter R, Asper L. Viewing distance and eyestrain symptoms with prolonged viewing of smartphones. *Clin Exp Optom*. 2017;100(2):133-7.
16. Palaiologou I. Children under five and digital technologies: implications for early years pedagogy. *European Early Childhood Education Research Journal* 2016(24):5-24.
17. Crouch M. A guide to parental control by device. : *Parents Magazine*; 2017 [Available from: <https://www.parents.com/parenting/better-parenting/advice/a-guide-to-parental-controls-by-device/>].
18. Ip JM, Robaei D, Rochtchina E, Mitchell P. Prevalence of eye disorders in young children with eyestrain complaints. *Am J Ophthalmol*. 2006;142(3):495-7.
19. Smith EL, 3rd, Hung LF, Huang J, Arumugam B. Effects of local myopic defocus on refractive development in monkeys. *Optom Vis Sci*. 2013;90(11):1176-86.

20. Kim J, Hwang Y, Kang S, Kim M, Kim TS, Kim J, et al. Association between Exposure to Smartphones and Ocular Health in Adolescents. *Ophthalmic Epidemiol.* 2016;23(4):269-76.
21. Fernandez-Montero A, Olmo-Jimenez JM, Olmo N, Bes-Rastrollo M, Moreno-Galarraga L, Moreno-Montanes J, et al. The impact of computer use in myopia progression: a cohort study in Spain. *Prev Med.* 2015;71:67-71.
22. Shantakumari N, Eldeeb R, Sreedharan J, Gopal K. Computer use and vision-related problems among university students in ajman, United arab emirate. *Annals of medical and health sciences research.* 2014;4(2):258-63.
23. Organization WH. The impact of myopia and high myopia. Switzerland2017. p. 40.
24. Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, Jong M, Naidoo KS, Sankaridurg P, et al. Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology.* 2016;123(5):1036-42.
25. Flitcroft DI. The complex interactions of retinal, optical and environmental factors in myopia aetiology. *Prog Retin Eye Res.* 2012;31(6):622-60.
26. Ritty JM, Solan HA, Cool SJ. Visual and sensory-motor functioning in the classroom: a preliminary report of ergonomic demands. *Journal of the American Optometric Association.* 1993;64(4):238-44.

TOXICITÉ POTENTIELLE DE LA LUMIÈRE HEV (BLEUE) DES APPAREILS ÉLECTRONIQUES POUR LES YEUX

Auteur : Dr Patrick J Rochette, Ph. D. – Professeur Agrégé– Université Laval et Chercheur
Centre de recherche du CHU de Québec – U Laval

L'exposition croissante aux appareils électroniques de plus en plus tôt chez les enfants soulève des questions et des inquiétudes. Ces appareils contiennent de plus en plus de lumière bleue, aussi appelée lumière visible à haute énergie (High-Energy Visible light; HEV) et les effets toxiques de cette lumière sur la rétine sont encore mal connus. Peu de laboratoires dans le monde étudient cette problématique pour plusieurs raisons, dont le manque d'expertise combinée de la photobiologie (étude des effets de la lumière sur les molécules biologiques) et de l'ophtalmologie. Ainsi, comme vous pourrez le constater à la lecture de ce mémoire, beaucoup reste à faire mais les travaux récents suggèrent une grande prudence quant à cette exposition chez les jeunes. Je débiterai avec des généralités sur l'exposition réelle à cette lumière chez l'enfant, les principes de bases par lesquels cette lumière peut être toxique et je terminerai avec l'état des connaissances sur le sujet.

Exposition de l'œil à la lumière

Sans entrer dans les principes de physique complexes, il y a un principe de base qui prévaut au niveau de la lumière, i.e. plus la longueur d'onde est courte, plus elle est énergétique. La lumière solaire se rendant à la surface terrestre comprend les ultraviolets (UV; 290-400 nm), la lumière visible (400-780 nm) et les infra-rouges (>780nm). Au niveau de la peau, il est bien connu que les rayons UV sont responsables des cancers cutanés et du photovieillissement. Au niveau oculaire, le portrait est très différent et beaucoup plus complexe. Tout d'abord, les rayons UV ne se rendent pas à la rétine chez l'adulte (Figure 1). Ainsi, la lumière la plus énergétique à atteindre la rétine est la lumière HEV (400-500 nm).

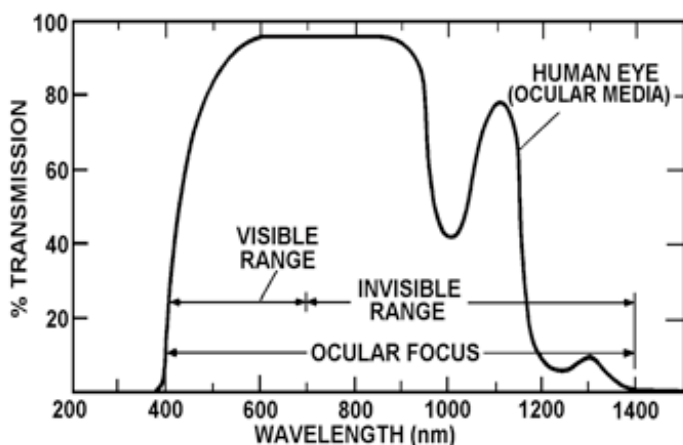


Figure 1. Transmission des rayons UV dans l'œil humain adulte. On peut observer que les rayons UV (<400 nm) ne se rendent pas à la rétine. Tiré de Boettner et Wolter, 1962 [2].

Cette filtration des rayons UV et d'une bonne partie de la lumière HEV est principalement causée par l'absorption de ces rayons par la cornée et le cristallin. Chez l'enfant, la filtration du cristallin n'est pas optimale (Figure 2) et une grande partie de rayons UV et HEV se rendent à la rétine. Par contre, bien que les rayons UV puissent être dommageables pour la cornée et le cristallin de l'œil adulte et pour la rétine des enfants, ils ne sont pas pertinents dans ce mémoire car les appareils électroniques n'émettent pas ou très peu de ces rayons.

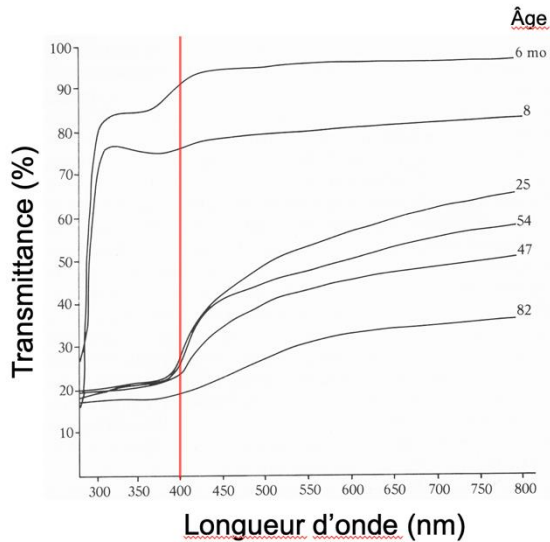


Figure 2. Transmission de la lumière par le cristallin en fonction de l'âge. On peut observer que les rayons UV ainsi qu'une grande partie des rayons HEV ne sont pas filtrés efficacement par le cristallin chez les enfants. Adapté de Lerman 1980 [1].

Selon une estimation que nous avons fait, basé sur la littérature courante, environ 60% de la lumière HEV à laquelle on est exposé se rend efficacement à la rétine (Figure 3) [3, 4] C'est une estimation faite à partir des valeurs connues pour le soleil, mais ces données sont transposables à l'exposition aux appareils électroniques et à l'éclairage artificiel.

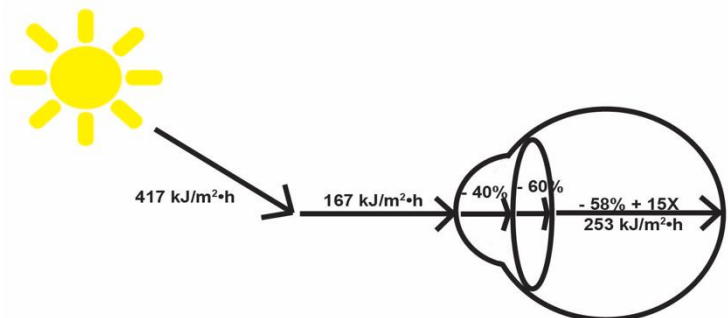


Figure 3. Pourcentage de transmission de la lumière HEV dans la rétine. Environ 60% de la lumière HEV qui se rend à l'œil atteint la rétine. (Labo PJ Rochette)

Effet toxique de la lumière

Une fois que nous avons établi que la lumière HEV se rend à la rétine, évaluons sa toxicité dans l'œil. Si nous vulgarisons, la lumière n'est qu'une onde électromagnétique contenant une certaine énergie, elle n'est pas toxique *per se*. Elle doit être absorbée par une molécule (chromophore) pour être toxique. En effet, selon des principes de physique bien déterminés, lorsque la lumière est absorbée par un chromophore, ce dernier peut soit convertir l'énergie en fluorescence, en chaleur ou encore la transmettre à l'oxygène. Lorsque l'énergie est transmise à l'oxygène, il y a formation des espèces réactives de l'oxygène (ROS). Ces ROS sont très toxiques pour les cellules, elles peuvent provoquer des mutations dans l'ADN, l'inactivation de protéines, l'endommagement des membranes cellulaires. Ainsi, c'est en excitant une molécule dans l'œil que la lumière HEV peut générer un stress oxydant toxique pour les structures oculaires.

La rétine et la lumière HEV

Certaines études ont montré la toxicité de la lumière sur la rétine. Par exemple, une étude a été conduite en 1991 dans laquelle les yeux de patients devant être énucléés à cause d'un cancer intraoculaire ont été exposés à de fortes doses de lumière blanche [5]. Dans cette étude, ils montrent

que la rétine est affectée par ces fortes doses de lumière. En utilisant des doses élevées de lumière, une étude récente a montré qu'en bloquer la portion entre 400 et 500 nm (HEV), les dommages causés à la rétine étaient réduits de façon significative [6]. Ces résultats viennent montrer le caractère toxique de la portion HEV de la lumière visible pour les yeux humains.

Dans la rétine, on retrouve la rétine neurale (photorécepteurs) ainsi que l'épithélium pigmenté rétinien (EPR). L'EPR est une monocouche de cellules sous les photorécepteurs de la rétine et représente la structure la plus à risque d'être affectée par la lumière HEV. L'EPR joue un rôle important dans le renouvellement et le maintien de l'intégrité des photorécepteurs. Lorsque l'intégrité de l'EPR est affectée, il en résulte une dégradation irréversible des photorécepteurs et une perte de vision. Plusieurs études sur des modèles animaux et cellulaires ont démontré la toxicité de la lumière et, plus spécifiquement, de la HEV sur les cellules de l'EPR [7-20]. Dans les cellules de l'EPR, il s'accumule de la lipofuscine, le chromophore qui serait responsable de la toxicité de la lumière HEV dans ces cellules. Il a en effet été démontré que les cellules de l'EPR chargées de lipofuscine sont très sensibles à la lumière HEV (Figure 4). La lipofuscine s'accumule avec l'âge dans l'EPR [21-23] et peut occuper jusqu'à 35% du contenu des cellules de l'EPR en âge avancé (>70 ans) [24]. Par contre, on ne retrouve que très peu de cette lipofuscine dans les cellules de l'EPR chez les enfants. Ainsi, bien que la quantité de HEV reçue par les enfants soit plus importante que chez les adultes, l'absence de lipofuscine devrait rendre cette lumière HEV moins toxique chez cette population. Par contre, cette conclusion est naïve car elle implique que seule la lipofuscine peut agir de chromophore pour la lumière HEV dans la rétine humaine.

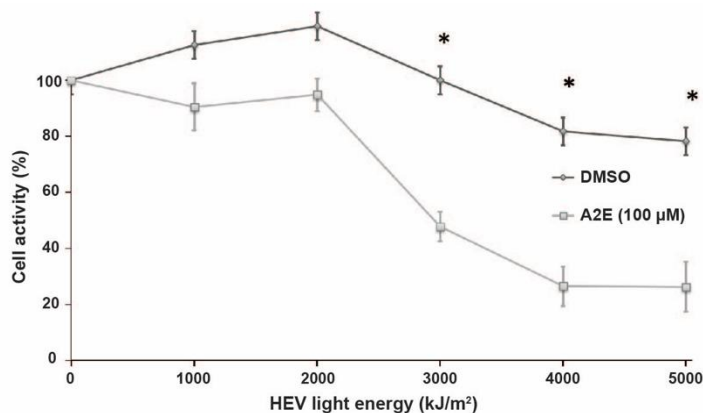


Figure 4. Viabilité des cellules de l'EPR contenant ou non de la lipofuscine, exposées à la lumière HEV. L'A2E est le composé principal de la lipofuscine et le DMSO représente le contrôle négatif sans lipofuscine. On peut observer la mort des cellules de l'EPR par la lumière HEV quand ces dernières contiennent de la lipofuscine. (résultats du Labo PJ Rochette, non-publiés)

Pollution et HEV – combinaison toxique pour la rétine?

Des travaux récemment publiés par notre équipe de recherche ont montré que la lipofuscine n'était pas le seul chromophore retrouvé dans les cellules de l'EPR pouvant absorber la lumière HEV [25]. En effet, certains composés provenant de la combustion incomplète de composés organiques, tel que l'indénopyrène, retrouvés dans notre environnement peuvent également s'accumuler dans la rétine. Ces composés sont produits entre autres par les véhicules à essence, le chauffage au charbon et au bois, la fumée de cigarette, et sont à des niveaux très élevés dans les régions urbaines à forte densité de population. Nos travaux ont montré que l'accumulation de l'indénopyrène dans les cellules de l'EPR augmentait la sensibilité de ces cellules à la lumière HEV par un facteur de plus de 3000x (figure 5).

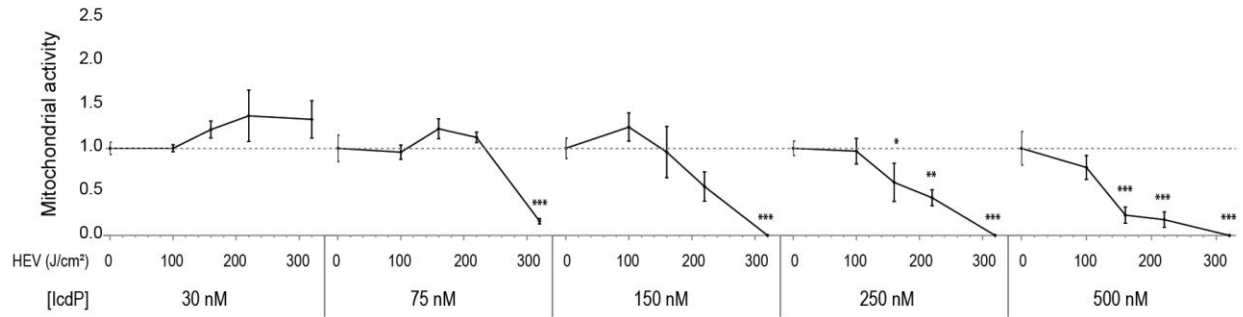


Figure 5. Viabilité des cellules de l'EPR contenant ou non de l'indénopyrène (IcdP), exposées à la lumière HEV. On peut observer que l'IcdP sensibilise les cellules de l'EPR à la lumière HEV. (Labo PJ Rochette, travaux publiés dans Zinflou et Rochete, Arch Toxicol, 2019)

Ces évidences ont été produites grâce à des modèles cellulaires. Nous avons transposé ces données sur un modèle d'organisme vivant en utilisant des souris ayant été exposées à la fumée de cigarette. Ces souris, suite à une semaine d'exposition à la fumée de cigarette de 4 jours, furent exposés à de la lumière HEV. Les rétines ont été analysées et les résultats démontrent clairement que l'exposition à la fumée de cigarette hyper-sensibilise les rétines de souris à la lumière HEV (Figure 6).

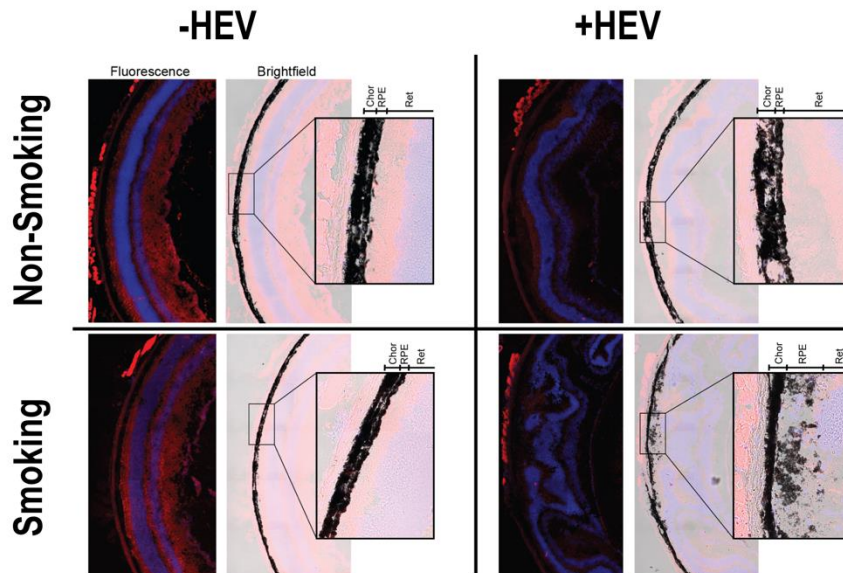


Figure 6. Dommages induits à la rétine suite à l'exposition des souris à de la fumée de cigarette et de la lumière HEV. On peut observer que l'exposition à la fumée de cigarette hypersensibilise les rétines à la lumière HEV. (Labo PJ Rochette, résultats non publiés)

Ces résultats viennent mettre en lumière l'existence de molécules présentes dans notre environnement qui peuvent rendre la rétine humaine plus sensible à la lumière HEV. Plus précisément, ils viennent démontrer que la sensibilité à la lumière HEV est exacerbée dans les régions très polluées ou chez les fumeurs et leur entourage.

Conclusions : Nous avons certaines certitudes quant à la lumière HEV chez les enfants. Nous savons que les yeux des enfants sont plus permissifs au passage de la lumière HEV que les yeux adultes. Ainsi, ils sont plus exposés que les adultes. Selon des travaux effectués sur des modèles cellulaires et animaux, nous savons aussi que cette lumière, à forte dose, est toxique pour la rétine

et que certains composés présents dans l'environnement pollué sensibilisent les cellules de la rétine de la lumière HEV. Par contre, il est moins clair comment nous pouvons transposer ces informations à la réalité de l'enfant exposé à la lumière HEV de ses appareils électroniques. Les appareils électroniques n'émettent pas des doses extrêmes de lumière HEV telles que celles utilisées dans les études citées dans ce rapport. Par contre, les enfants sont exposés plus fréquemment et sur une période beaucoup plus prolongée que ce qui est utilisé en laboratoire. Ainsi, il est difficile de dire quelles pourraient être les conséquences réelles d'une exposition chronique à long terme à ces doses modérées de lumière HEV chez l'enfant. Ce qui est certain, c'est que nous ne sommes qu'au début de la compréhension de cette problématique. Par exemple, il est facilement envisageable que nous trouvions d'autres molécules présentes dans l'alimentation ou l'environnement de l'enfant qui sensibilise la rétine à la lumière HEV. Il est de mise d'user de prudence quant à l'utilisation de ces appareils car nous ne connaissons pas encore bien les conséquences à long-terme sur la santé de la rétine.

Recommandations :

- Utiliser des filtres bloquant la lumière HEV sur les appareils électroniques
- Prévenir des dangers de l'exposition à la lumière HEV chez les enfants exposés à la fumée de cigarette (foyer fumeurs) et dans les environnements très pollués (milieux urbains à forte densité de population)
- Sensibiliser la population des dangers potentiels de la lumière HEV, surtout chez les enfants où l'exposition est accrue

ANNEXE

Références :

1. Lerman, S., *Radiant energy and the eye*. Functional Ophthalmolog. Vol. 1. 1980, New York: Macmillan Publishing Co., Inc. 321.
2. Boettner, E.A. and J.R. Wolter, *Transmission of the ocular media*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1962. **1**(6): p. 776-83.
3. Sasaki, H., et al., *UV-B exposure to the eye depending on solar altitude*. Eye Contact Lens, 2011. **37**(4): p. 191-5.
4. Artigas, J.M., et al., *Spectral transmission of the human crystalline lens in adult and elderly persons: color and total transmission of visible light*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2012. **53**(7): p. 4076-84.
5. Green, W.R. and D.M. Robertson, *Pathologic findings of photic retinopathy in the human eye*. Am J Ophthalmol, 1991. **112**(5): p. 520-7.
6. Vicente-Tejedor, J., et al., *Removal of the blue component of light significantly decreases retinal damage after high intensity exposure*. PLoS One, 2018. **13**(3): p. e0194218.
7. Davies, S., et al., *Photocytotoxicity of lipofuscin in human retinal pigment epithelial cells*. Free Radic Biol Med, 2001. **31**(2): p. 256-65.
8. Gorgels, T.G. and D. van Norren, *Ultraviolet and green light cause different types of damage in rat retina*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1995. **36**(5): p. 851-63.
9. Grimm, C., et al., *Rhodopsin-mediated blue-light damage to the rat retina: effect of photoreversal of bleaching*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2001. **42**(2): p. 497-505.
10. Lawwill, T., *Three major pathologic processes caused by light in the primate retina: a search for mechanisms*. Trans Am Ophthalmol Soc, 1982. **80**: p. 517-79.
11. Lund, D.J., B.E. Stuck, and P. Edsall, *Retinal injury thresholds for blue wavelength lasers*. Health Phys, 2006. **90**(5): p. 477-84.
12. Putting, B.J., et al., *Spectral sensitivity of the blood-retinal barrier at the pigment epithelium for blue light in the 400-500 nm range*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 1993. **231**(10): p. 600-6.
13. Putting, B.J., et al., *Dysfunction and repair of the blood-retina barrier following white light exposure: a fluorophotometric and histologic study*. Exp Eye Res, 1992. **54**(1): p. 133-41.
14. Sparrow, J.R., A.S. Miller, and J. Zhou, *Blue light-absorbing intraocular lens and retinal pigment epithelium protection in vitro*. J Cataract Refract Surg, 2004. **30**(4): p. 873-8.
15. Sparrow, J.R., K. Nakanishi, and C.A. Parish, *The lipofuscin fluorophore A2E mediates blue light-induced damage to retinal pigmented epithelial cells*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2000. **41**(7): p. 1981-9.
16. van Best, J.A., et al., *Function and morphology of the retinal pigment epithelium after light-induced damage*. Microsc Res Tech, 1997. **36**(2): p. 77-88.
17. van Norren, D. and T.G. Gorgels, *The action spectrum of photochemical damage to the retina: a review of monochromatic threshold data*. Photochem Photobiol, 2011. **87**(4): p. 747-53.
18. van Norren, D. and P. Schellekens, *Blue light hazard in rat*. Vision Res, 1990. **30**(10): p. 1517-20.
19. Wihlmark, U., et al., *Lipofuscin accumulation in cultured retinal pigment epithelial cells causes enhanced sensitivity to blue light irradiation*. Free Radic Biol Med, 1997. **22**(7): p. 1229-34.
20. Zhou, J. and J.R. Sparrow, *Light filtering in a retinal pigment epithelial cell culture model*. Optom Vis Sci, 2011. **88**(6): p. 759-65.
21. Bazan, H.E., et al., *Lipids in human lipofuscin-enriched subcellular fractions of two age populations. Comparison with rod outer segments and neural retina*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1990. **31**(8): p. 1433-43.

22. Ng, K.P., et al., *Retinal pigment epithelium lipofuscin proteomics*. Mol Cell Proteomics, 2008. **7**(7): p. 1397-405.
23. Sparrow, J.R., et al., *Phospholipid meets all-trans-retinal: the making of RPE bisretinoids*. J Lipid Res, 2010. **51**(2): p. 247-61.
24. Feeney-Burns, L., E.S. Hilderbrand, and S. Eldridge, *Aging human RPE: morphometric analysis of macular, equatorial, and peripheral cells*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1984. **25**(2): p. 195-200.
25. Zinflou, C. and P.J. Rochette, *Absorption of blue light by cigarette smoke components is highly toxic for retinal pigmented epithelial cells*. Arch Toxicol, 2019. **93**(2): p. 453-465.

L'IMPACT DE L'UTILISATION EN SOIRÉE DES ÉCRANS SUR L'HORLOGE BIOLOGIQUE ET LE SOMMEIL

Auteur : Dr Marc Hébert, Ph. D. – Professeur Titulaire – Université Laval et Chercheur Centre de recherche CERVO-CIUSSS-CN

Les appareils électroniques grand public jouent un rôle important dans la société moderne. Les progrès technologiques améliorent continuellement leur utilité et leur portabilité, ce qui rend possible l'utilisation quasi constante d'appareils électroniques pendant les heures de veille. Pour la plupart des gens, cela inclut les heures du soir près de l'heure du coucher. D'ailleurs aux États-Unis, un sondage fait par le National Sleep Foundation produit en 2011 chez 1508 participants révélait que 96% des personnes en bas de 30 ans rapportaient l'utilisation d'écrans dans l'heure précédant le coucher (1). Puisque ces technologies ne sont pas près de disparaître il devient important d'évaluer leur impact sur l'entraînement de notre horloge biologique et notre sommeil dans un contexte d'utilisation en soirée ou avant le coucher et ce, plus particulièrement chez les enfants et adolescents.

Nous possédons tous une horloge biologique située dans les noyaux suprachiasmatiques de l'hypothalamus, laquelle joue le rôle de chef d'orchestre entraînant une cyclicité de plus de 150 rythmes biologiques interne visant à favoriser l'éveil le jour et le sommeil la nuit. Parmi ces rythmes essentiels on retrouve la température centrale du corps, la production d'hormones comme la mélatonine, l'éveil et le sommeil. Une particularité de l'horloge biologique est qu'elle ne poursuit pas une cyclicité d'exactly 24h. C'est l'exposition à la lumière le matin qui enclenche sa synchronisation quotidienne. Sans cette lumière, notre horloge se décalerait quotidiennement d'environ 6 à 12 minutes. Si privé de lumière le matin pendant 5 jours, cela voudrait dire que notre horloge décalerait de 30 à 60 minutes engendrant ainsi une difficulté à s'endormir le soir et se lever le matin. D'ailleurs lors du changement d'heure, il est facile de constater comment une heure de décalage peut nous affecter. Ainsi la lumière matinale joue un rôle très important dans nos vies. Outre la lumière le matin, l'obscurité la nuit est tout aussi importante car cela permet à l'hormone mélatonine d'être produite, soit une hormone facilitant le sommeil. Cette hormone dont la rythmicité est sous le contrôle de l'horloge biologique débute sa production environ 2 heures avant notre coucher. Or, cette hormone produite par la glande pinéale a une particularité, elle peut être supprimée par la lumière (2-4). Ainsi en présence de lumière en soirée, la production de mélatonine sera retardée ce qui affectera le sommeil de même que la synchronisation de l'horloge biologique. En bref, la lumière matinale renseigne notre horloge sur le fait que c'est le jour et qu'il est temps d'activer les rythmes favorisant l'éveil tandis que la mélatonine lui indique que c'est la nuit et qu'il faut activer les rythmes favorisant le sommeil. Ce passage du cycle lumière-obscurité est donc primordial afin de maintenir une bonne synchronisation de notre horloge biologique sur un horaire de 24h. Il est donc facile de comprendre que si la lumière est souhaitable et même primordiale en début de journée, celle-ci devrait être réduite au maximum en fin de soirée afin de nous préparer au sommeil. D'ailleurs c'est ce qui se passe de façon naturelle dans la nature. Or, dans notre monde industrialisé, nous avons accès à de la lumière artificielle de façon continue si bien qu'il devient possible de rallonger nos journées. L'avènement de la lumière artificielle ne date pas d'hier alors pourquoi s'en préoccuper aujourd'hui? La réponse se situe dans la mouvance vers un type d'éclairage et de technologies faisant usage d'écrans composés de diodes électroluminescentes (DEL), lesquelles produisent davantage de lumière bleue ou HEV.

Mais quel est le lien entre la lumière bleue et notre horloge biologique?

Le lien particulier entre notre horloge biologique et la lumière bleue a été démontré seulement en 2001. A ce moment, deux groupes de chercheurs (5-6) ont, de façon indépendante, démontré que notre horloge biologique n'est pas sensible de façon égale à toutes les couleurs du spectre qui compose la lumière blanche (voir Fig.1).

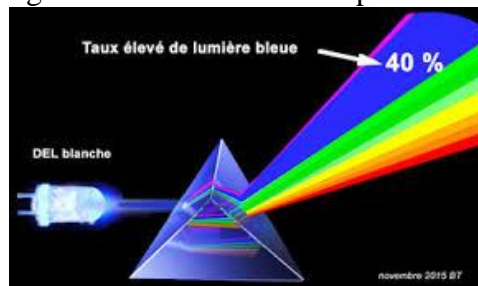


Figure 1. La figure ci-contre montre la décomposition de toutes les couleurs du spectre lumineux lorsque le faisceau de lumière blanche traverse un prisme

Pour ce faire, ils ont exposé des volontaires à différentes couleurs du spectre lumineux et ont évalué la quantité de mélatonine qui était supprimée. Comme la lumière doit d'abord être 'perçue' par l'horloge biologique pour que celle-ci envoie un signal à la glande pinéale, plus l'horloge répond à la lumière, plus le signal sera puissant vers la glande pinéale, engendrant ainsi une plus grande suppression de mélatonine. En bref, la quantité de mélatonine supprimée devient une mesure indirecte de l'ampleur de la réponse de l'horloge biologique à la lumière reçue.

Dans leurs recherches, les chercheurs ont alors observé que la lumière avec un pic de transmission autour de 460nm, soit la lumière bleue, représentait la lumière la plus stimulante pour notre horloge biologique étant celle qui engendrait, à puissance égale, la plus grande suppression de mélatonine. Or, comme illustré par le Dr Michaud dans la section 3.1.2, de même qu'ici dans la figure 2, les DEL comportent une émission importante dans le bleu à environ 465nm. Ainsi, une lumière DEL est davantage susceptible d'influencer la production de mélatonine nocturne et ainsi interférer avec notre sommeil. Toutefois, l'impact dépend de l'intensité ainsi que la durée d'exposition.

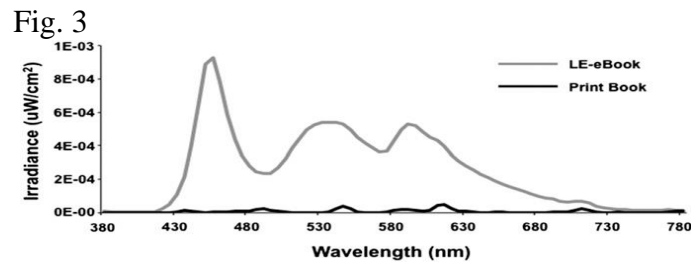
Figure 2. DEL blanche composition



Un autre facteur est la quantité de lumière reçue durant la journée, appelée aussi historique lumineuse. Plus on s'expose à un environnement lumineux de forte intensité durant la journée, moins notre horloge biologique sera sensible à la lumière nocturne, ce qui se traduira par une suppression moindre de mélatonine comme cela a été démontré dans nos recherches (7).

Sur la base de l'impact de la lumière bleue sur la mélatonine et la popularité croissante des appareils électroniques composés d'éclairage DEL, deux groupes de recherche américains se sont penchés sur l'utilisation d'écrans électronique avant le sommeil. L'équipe de Figueiro en 2013 (8) a testé l'impact de l'utilisation d'un iPad pendant 60 minutes versus 120 minutes au maximum de luminosité (soit environ 40 lux à une distance d'utilisation normale de 24.5 cm ou 10 pouces). Fait intéressant, les participants au nombre de 13 étaient des jeunes âgés entre 15 et 18 ans. L'utilisation de 120 minutes a révélé une suppression de l'hormone mélatonine de 22% tandis que l'exposition de 60 minutes n'eut pas d'impact significatif. Un groupe de Harvard, Czeisler et coll. 2015 (9),

ont testé l'impact sur le sommeil de la lecture pendant 4 heures avec soit une tablette électronique (eReader) ou soit un livre standard, et ce, pendant 5 soirées consécutives en laboratoire. L'âge moyen des 12 participants qui ont complété les deux conditions était de 24.92 ± 2.84 ans. La figure 3 (tiré de l'article publié par les auteurs) montre la quantité accrue de lumière autour de 450-460nm (lumière bleue ou HEV) produite par l'appareil électronique par rapport à un simple livre. La stimulation produite par la tablette était de 31.73 lux versus 0.91 lux pour la réflexion lumineuse produite par le livre. À titre informatif, 1 lux est égale à la lumière produite par une chandelle à 1 mètre de distance.



Dans la condition lecture sur une tablette électronique, ils ont trouvé un décalage de 10 minutes dans l'endormissement, une suppression de 55% de mélatonine et des effets sur l'architecture des cycles du sommeil se traduisant par une proportion moindre du sommeil REM (cycle lié aux rêves) de même qu'un décalage de 90 minutes de l'horloge biologique. De plus les participants ont pris 1 heure de plus le matin avant de se sentir aussi réveillés que dans la condition de lecture sur du papier et se sentaient moins endormis lors du coucher ce qui favoriserait selon les auteurs un décalage dans l'heure du coucher.

Les résultats de ces études ne sont pas très alarmants en soit (considérant la durée d'utilisation), surtout que les participants, de la deuxième étude, n'avaient aucun accès durant la journée à de la lumière naturelle ce qui en soit augmentait leur sensibilité à la lumière (7). Ainsi dans des conditions contrôlées de laboratoire, l'utilisation d'un iPad pendant une heure aurait peu d'impact sur la suppression de la mélatonine et l'utilisation pendant 4 heures d'une tablette avant le coucher pendant 5 jours aurait un faible impact sur l'endormissement (10 minutes de décalage). On pourrait toutefois être plus alarmé par l'envergure de l'impact du décalage sur l'horloge biologique. Toutefois, ce décalage aurait été substantiellement réduit ou même compensé si les participants avaient pu s'exposer à la lumière naturelle le matin afin de resynchroniser leur horloge biologique. Mais la question que l'on peut se poser est la suivante : est-ce que ces recherches représentent la réalité d'utilisation d'un appareil électronique avant de dormir, et ainsi son impact réel sur le sommeil?

Dans les faits la réponse est non. Dans les expériences citées, l'appareil est obligatoirement éteint à une heure fixe avant la période de sommeil. Or, dans la réalité les usagers auront tendance à retarder leur heure d'endormissement à cause de l'impact stimulant sur la vigilance que la lumière bleue générée par ces appareils peut avoir de même que par l'accès à une multitude d'activités (plus stimulantes qu'un simple livre) que l'on peut faire sur un appareil électronique avec accès internet. D'ailleurs, récemment en 2018, le même groupe de Harvard a retenté leur expérience d'exposition pendant 4 heures avant le coucher à une tablette électronique versus la lecture d'un livre (10). Cette fois, ils ont donné la liberté aux participants de regarder ce qu'ils voulaient sur la tablette connectée à internet et de décider de l'heure du coucher. L'heure du lever était fixe pour tout le monde. Cette étude comportait neuf participants avec une moyenne d'âge de $25,7 \pm 3.0$ ans. Ils ont alors observé des résultats quelques peu différents de leur étude précédente. L'heure de sommeil choisie était retardée de 30 minutes lors de l'utilisation de la tablette par rapport à la lecture d'un livre avant le coucher. La suppression de mélatonine était similaire soit de 54% mais

le décalage de l'horloge biologique était moindre soit de 48 minutes. Tout comme dans l'étude précédente, les participants ont rapporté une somnolence moindre avant le sommeil de même qu'une qualité d'éveil plus faible durant la première heure du lever. Au niveau du sommeil ils ont retrouvé après 5 jours d'exposition, moins d'éveils durant le sommeil, une plus quantité de sommeil profond (stade N3), mais pas d'effet sur le cycle REM, des résultats contrastant quelques peu avec leur étude précédente. Cependant ils ont émis l'hypothèse que ces observations pouvaient s'expliquer par un mode de compensation engendré par la perte de sommeil cumulée les jours précédents.

Pour le moment il est difficile de conclure à partir de cette étude si c'est la lumière bleue produite par l'écran de la tablette qui est la source du décalage du sommeil ou le fait que de tels appareils permettent une plus grande panoplie d'activités ou divertissements. C'est d'ailleurs cette deuxième hypothèse qui est favorisée par un autre chercheur américain Timothy Brown telle qu'exprimée dans une entrevue à The Guardian (17 décembre 2019), article intitulée : *Not such a bright idea: why your phone's 'night mode' may be keeping you awake*. Dans l'article, on discute du fait que ce ne soit pas la couleur de lumière produite par l'écran qui nous empêche de dormir; mais davantage tout ce que notre téléphone offre comme alternative au sommeil à 2h du matin. De plus, dans cet article le journaliste rapporte une étude du chercheur qui a été produite chez la souris et qui indique qu'à intensités égales, la lumière jaune serait plus stimulante que la lumière bleue, laquelle serait plus calmante (11). Ce dernier suggère même que le filtre anti-bleu utilisé en soirée, soit plutôt utilisé durant la journée et que le soir il vaudrait mieux juste réduire l'intensité des appareils électroniques. Toutefois les évidences chez l'humain vont davantage dans la direction d'un effet stimulant de la lumière bleue qu'un effet calmant puisque qu'il a été démontré clairement que celle-ci produit une hausse du rythme cardiaque et la température centrale du corps en plus de supprimer la mélatonine, soit tous des facteurs favorisant l'éveil (12). Il faut toutefois noter aussi que l'équipe de Figueiro (8) dans son étude note que l'intensité lumineuse émise par les appareils électroniques est aussi dépendante de ce qui est regardé, passant facilement de 5 lux à 50 lux. Aussi, le simple fait de réduire l'intensité de l'écran pourrait réduire de façon significative les effets des écrans sur la suppression de mélatonine. Toutefois, il n'est pas clair si cela aurait un impact nécessairement sur l'heure du coucher, surtout chez les adolescents. Il est toutefois intéressant de noter que les recherches présentées chez l'humain ont toutes été conduites chez une population jeune, pour laquelle la transmission de lumière bleue est accrue. En effet avec le vieillissement on observe un jaunissement du cristallin ce qui a pour effet de couper la lumière bleue. Ainsi les enfants en bas âge seraient les plus susceptibles de ressentir les effets de la lumière bleue par rapport à une personne âgée. Chez des enfants en bas âges, les effets pourraient encore être plus importants d'où l'importance de ne pas utiliser ces écrans à leur intensité maximale.

Conclusion : Il peut être difficile pour les parents de forcer leurs enfants à ne pas regarder la télévision ou utiliser des appareils électroniques avant le coucher. Mais, il existe de bonnes raisons pour le faire. L'une d'elle est que la lumière bleue émise par ces écrans peut retarder la libération de mélatonine favorisant le sommeil, et par ricochet, décaler l'horloge biologique de l'enfant. Il s'agit d'une problématique qui peut se retrouver amplifiée chez les adolescents dont l'horloge biologique a déjà une tendance naturelle à décaler les faisant se sentir plus éveillé en soirée favorisant ainsi une heure de coucher plus tardive (13). Ceci s'ajoute au fait que les appareils électroniques, même avec un filtre anti-bleu, offrent une variété d'activités captivantes via des jeux, les médias sociaux et vidéos pouvant amener un enfant ou adolescent à repousser son heure de coucher. Au final, on se retrouve avec des enfants ou adolescents privés de sommeil ou mal reposés qui en bout de ligne se réveillent avec un mini décalage horaire!

Recommandations :

- Éviter l'utilisation des appareils électronique 1 heure avant le sommeil chez l'enfant et l'adolescent.
- En soirée, réduire l'intensité lumineuse des appareils électroniques au minimum, surtout si utilisés dans un endroit avec faible luminosité.
- Ne pas laisser le son actif des appareils électroniques la nuit afin d'éviter d'être réveillé par de quelconques notifications.

ANNEXE

Références :

1. Gradisar M, Wolfson AR, Harvey AG, et al. 2013. The sleep and technology use of Americans: findings from the National Sleep Foundation's 2011 SleepinAmerica poll. *J Clin Sleep Med* ;9:1291–9.
2. Zeitzer JM, Dijk DJ, Kronauer R, Brown E, Czeisler C. 2000. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: Melatonin phase resetting and suppression. *J Physiol* 526(Pt 3):695–702.
3. McIntyre IM, Norman TR, Burrows GD, Armstrong SM. 1989. Human melatonin suppression by light is intensity dependent. *J Pineal Res* 6(2):149–156.
4. Brainard GC, et al. 1988. Dose-response relationship between light irradiance and the suppression of plasma melatonin in human volunteers. *Brain Res* 454(1-2):212–218.
5. Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, et al. 2001. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J. Neurosci.* 21:6405–6412.
6. Thapan K, Arendt J, Skene DJ. 2001. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J. Physiol.* 535:261–267.
7. Hébert M, Martin SK, Lee C, Eastman CI. 2002. The effects of prior light history on the suppression of melatonin by light in humans. *Journal of Pineal Research* 33: 198-203.
8. Wood B, Rea MS, Plitnick B, Figueiro MG. 2013. Light level and duration of exposure determine the impact of self-luminous tablets on melatonin suppression. *Appl. Ergon* 44:237–240.
9. Chang AM, Aeschbach D, Duffy JF, Czeisler CA .2015. Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 112:1232–1237.
10. Chinoy ED, Duffy JF, Czeisler CA. 2018. Unrestricted evening use of light-emitting tablet computers delays self-selected bedtime and disrupts circadian timing and alertness. *Physiol Rep*, 6 (10), e13692
11. Moulond JW, Martial F, Watson A, Lucas RJ, Brown TM. 2019. Cones Support Alignment to an Inconsistent World by Suppressing Mouse Circadian Responses to the Blue Colors Associated with Twilight. *Current Biology* 29, 4260–4267.
12. Cajochen C. 2007. Alerting effects of light. *Sleep Med Rev* 11(6):453–464.
13. Carskadon MA. 2011. Sleep in adolescents: the perfect storm. *Pediatr Clin North Am.* 58(3):637–647.