

POLLUTION LUMINEUSE, POLLUTION VISUELLE, POLLUTION DE L'ESPRIT
Light pollution, visual pollution, pollution of the mind

DUFIER J.L.

MOTS CLES : LUMIERE, PHOTO-TOXICITE, DIODES ELECTRO-LUMINESCENTES, D.M.L.A., MELATONINE, MESSAGE SUBLIMINAL, CECITE.

KEY WORDS : LIGHT, PHOTO-TOXICITY, LIGHT EMITTING DIODES, A.M.D., MELATONIN, SUBLIMINAL ADVERTISING, BLINDNESS.

L'auteur déclare n'avoir aucun lien d'intérêt en relation avec le contenu de cet article

RESUME

Contrairement aux autres sources de pollution, l'agression lumineuse, l'agression visuelle et celle de l'esprit par les nouvelles sources de lumière artificielle et ce qu'elles véhiculent sont moins souvent dénoncées. Et cependant, la rétine et le cerveau y sont constamment exposés, parfois même à notre insu. On ne saurait donc trop recommander la photo-protection face à la nocivité des rayons lumineux dans les courtes longueurs d'onde (380-500 nm) de la bande bleue du spectre visible (380-700nm), le respect des rythmes biologiques du cycle circadien, ainsi que la prudence et le discernement vis à vis du contenu des médias

SUMMARY

Unlike other sources of pollution, light aggression, visual aggression and aggression of mind by new sources of artificial light, and what they convey, are less often denounced. And yet, the retina and brain are constantly exposed to it, sometimes even without our knowledge. We cannot therefore recommend too much photo-protection in the face of the harmfulness of light rays in the short wavelengths (380-500 nm) of the blue band of the visible spectrum (380-700nm), the respect of the biological rhythms of the circadian cycle, prudence and discernment with regard to media content

Membre de l'Académie Nationale de Médecine,
Tirés à part ; Professeur Jean-Louis DUFIER Clinique Roosevelt 9, rue Jean Goujon 75008
Paris courriel : jean-louis.dufier@orange.fr

INTRODUCTION

Contrairement aux autres sources de pollution, les agressions lumineuses, les agressions visuelles et celles de l'esprit par les nouvelles sources de lumière artificielle et ce qu'elles véhiculent sont moins souvent dénoncées.

Et cependant, la rétine et le cerveau y sont constamment exposés, parfois même à notre insu.

Elles font naître des interrogations :

Comment la bienfaisante lumière peut-elle se muer en une redoutable pollueuse ?

Et pourquoi faut-il que l'homme s'introduise par les yeux des voleurs qui lui dérobent son esprit ?

Depuis la nuit des temps, les Hommes ont été fascinés par la lumière au point de lui conférer une essence divine.

Pharaon descend de Ré, dieu du soleil.

Huitzilopochtli est à la fois dieu du soleil et de la guerre chez les Aztèques.

Au siècle de Louis XIV, celui du Roi-soleil, fait suite le siècle des lumières, celui des Philosophes et des Encyclopédistes.

Dès 1633 René Descartes écrit en préambule de son Traité de la Dioptrique :

« Toute la conduite de notre vie dépend de nos sens entre lesquels celui de la vue est le plus universel et le plus noble ».

Le plus universel en effet, car le sens de la vision ne se limite pas à l'acuité visuelle, c'est-à-dire à la capacité de discriminer deux points séparés par une minute d'arc.

Il comporte aussi la vision des couleurs, la perception de l'espace par le champ visuel, la vision des contrastes et enfin la vision du relief grâce à la vision binoculaire.

Celle-ci résulte de la fusion des deux images perçues par chacun des yeux en une image unique. Cette vision binoculaire est le privilège des prédateurs aux yeux frontaux.

Les proies dont les yeux sont latéraux n'ont pas de vision binoculaire, mais seulement une vision panoramique qui leur permet, d'ailleurs, d'échapper à leurs prédateurs.

Il n'est peut-être pas inutile de rappeler que la vision résulte de l'interaction entre un récepteur, la rétine, et son effecteur lumineux

LA RETINE ET LA LUMIERE

La rétine réceptrice des photons lumineux assume deux fonctions :

-l'une évidente, la fonction visuelle grâce au couple photorécepteur-épithélium pigmenté.

-l'autre tout aussi essentielle, assure la régulation du cycle veille- sommeil, encore appelé cycle circadien ou nyctéméral grâce à certaines cellules ganglionnaires photo-réceptrices.

Ces photorécepteurs sont le lieu d'une subtile alchimie, appelée photo-transduction, qui transforme les photons en électrons.

Les trains d'électrons, codés au niveau de la rétine, parcourent les voies visuelles intracérébrales jusqu'au cortex visuel occipital pour être décodés et interprétés en fonction de la banque d'images répertoriées et mémorisées par le cerveau.

On estime que 80% des fonctions cérébrales sont impliquées dans le phénomène de la vision.

Toute la Création est bâtie sur un mode binaire, le soleil- la lune, le jour- la nuit, la systole- la diastole...La rétine et ses deux photorécepteurs n'exceptent pas cette règle (**fig.1**)

On les décrit selon la forme de leur extrémité.

Les 6,5 millions de photorécepteurs à cône sont dévolus à la vision diurne, à la discrimination fine, la lecture, l'écriture, la vision des couleurs et la vision du relief. Ils sont surtout situés dans la zone centrale de la rétine appelée macula.

Leur altération est responsable de la perte de la vision centrale observée dans la Dégénérescence Maculaire Liée à l'Age (DMLA).

Les 130 millions de photorécepteurs à bâtonnet tapissent l'ensemble de la rétine périphérique. Ils assurent la vision nocturne et la perception du monde environnant.

Leur atteinte se manifeste par l'altération de la vision nocturne et la restriction du champ visuel périphérique comme dans le glaucome chronique et les rétinopathies pigmentaires.

Les photo-pigments contenus dans ces photorécepteurs, *opsines* pour les cônes, *rhodopsine* pour les bâtonnets sont le point de départ moléculaire de la vision.

Ils sont consommés le jour et régénérés la nuit.

Le respect du rythme circadien plongeant, de nuit, la rétine dans une obscurité totale est donc fondamental pour leur régénération par les photorécepteurs.

L'épithélium pigmenté a un rôle essentiel de soutien des photorécepteurs, à la fois écran protecteur vis-à-vis de la lumière et recyclage des photo-pigments usagés.

Enfin des cellules ganglionnaires spécialisées, dites intrinsèquement photosensibles, (ipRGCs), réagissent à la lumière grâce à un autre photo-pigment, la *mélanopsine*.

Cette *mélanopsine* régit la sécrétion de l'hormone du sommeil appelée mélatonine

Dans l'obscurité la mélatonine, neuro-hormone sécrétée par la glande pinéale intracérébrale, plonge l'organisme dans le sommeil.

Au moindre rayon lumineux, la *mélanopsine* est stimulée. Elle bloque la sécrétion de la mélatonine et met l'organisme en état de veille (1). Son rôle s'avère donc majeur dans la régulation du cycle veille-sommeil.

Le respect du rythme nyctéméral plongeant la rétine dans une obscurité totale est essentiel non seulement pour la régénération des pigments des photorécepteurs mais aussi pour la sécrétion de la mélatonine, garante d'un sommeil réparateur.

.L'homme est bien un être à activité diurne et repos nocturne.

La lumière est l'expression de l'énergie rayonnante des photons.

Le spectre visible pour l'œil humain s'étale entre les longueurs d'onde 380 et 700 nm. (**fig.2**).

En deçà, se situent les courtes longueurs d'onde des rayonnements ultra-violets dont on connaît la nocivité pour l'œil et la peau, puis les radiations ionisantes aux effets mutagènes. Au-delà, les longues et chaudes longueurs d'onde de l'infra-rouge sont suivies par les ondes radio.

Le spectre de la lumière naturelle du soleil est assez homogène dans ses énergies.

L'interaction rétine-lumière

La rétine humaine, après s'être parfaitement adaptée depuis l'aube des temps, à la lumière naturelle du soleil, pendant des millénaires à la lumière dansante du feu et vacillante d'une bougie, puis à la fin du XIXe à l'ampoule électrique à incandescence, véritable révolution de l'éclairage (Thomas Edison, 1878), cette rétine est maintenant exposée à une nouvelle source de lumière artificielle, les Diodes Electro Luminescentes (LEDs).

Ces diodes sont des dispositifs semi-conducteurs qui émettent une lumière monochromatique incohérente lorsqu'elles sont parcourues par un courant électrique. Ce ne sont donc pas des lasers.

Selon le matériau semi-conducteur utilisé, ces diodes peuvent émettre dans l'ultraviolet, l'infrarouge ou dans le spectre visible entre 380 et 700 nanomètres.

L'atout majeur de la technologie LED réside dans son efficacité énergétique.

Alors que les ampoules à incandescence dispersent en chaleur 90 % de leur énergie, les tubes fluorescents 40%, une LED seulement 15 %.

Il en résulte que les LEDs sont 1.000 fois plus lumineuses que les lampes à incandescence et ont de plus une durée de vie moyenne de l'ordre de 50.000 heures.

Comment résister à un tel avantage technologique ?

Cependant elles font naître des préoccupations pour deux raisons :

-La première est leur présence ubiquitaire, urbaine, domestique et jusque sur le costume de scène de Zerbinette dans Ariane à Naxos de R. Strauss.

-L'autre vient de leur composition spectrale.

En effet la plupart des LEDs commercialisées diffusent une lumière blanche en utilisant une LED bleue entourée d'un film de phosphore qui émet une bande spectrale entre 380 et 500 nanomètres, avec un pic de lumière bleu-violette entre 415 et 455nm proche du rayonnement ultra-violet là où le risque photo-toxique est maximum pour la rétine(2).

LA POLLUTION LUMINEUSE

La pollution lumineuse naît de cette débauche de lumières émises de façon ubiquitaire par les LEDs auxquelles les yeux sont maintenant exposés, jour et nuit, par les enseignes lumineuses criardes, l'éclairage urbain permanent, les phares automobiles éblouissants, les écrans de télévision, ordinateurs, tablettes, et surtout les « smartphones ».

Ceux-ci, initialement destinés au sens de l'audition, sont devenus d'un usage presque exclusivement visuel. L'énergie diminuant avec le carré de la distance, les yeux sont particulièrement exposés à leur rayonnement nocif par l'étroitesse de leur écran qui impose une lecture en vision de près.

Il résulte de cette pollution lumineuse deux ordres de conséquences néfastes :

- la photo-toxicité pour la rétine**
- et la dérégulation du cycle veille-sommeil.**

La photo-toxicité :

Les effets de la lumière et singulièrement des rayons ultraviolets sur l'œil et la peau, sont bien connus: érythème cutané, mélanomes, kératites, effets cancérigènes sur des terrains génétiquement prédisposés comme les enfants-lune affligés du Xéoderma pigmentosum et l'albinisme complet. Par une adaptation toute darwinienne à leur environnement solaire, les populations africaines, australes et asiatiques ont développé leur protection par une forte pigmentation mélanique, cutanée, irienne et rétinienne. Les populations à peau claire de l'hémisphère nord, moins exposées, ne l'ont pas développée ou l'ont perdue et doivent se protéger par des crèmes solaires et des verres filtrants.

La photo-toxicité rétinienne

Au laboratoire, deux mille lux délivrés jour et nuit pendant une semaine suffisent pour créer un animal aveugle par photo-destruction de sa rétine. Ce fut un des principes du supplice de Regulus.

La souche de drosophiles Nina E, mutées dans le gène de la rhodopsine, doit être maintenue dans l'obscurité pour éviter la dégénérescence de leurs omatidies à la lumière.

En clinique humaine, la notion d'exposition, sans protection, à un fort ensoleillement a été souvent retrouvée dans les antécédents de patients atteints de maladies dégénératives et familiales de la rétine comme la rétinopathie pigmentaire.

Les mécanismes de la photo-toxicité rétinienne

La bande bleue (380-500 nm) du spectre visible (400-700nm), la plus proche du rayonnement ultra-violet est considérée comme responsable de cette photo-toxicité.

Il ne s'agit pas d'un photo-traumatisme comme après l'observation imprudente d'une éclipse solaire ou lors de la manipulation accidentelle d'un rayon laser, mais de lésions photochimiques au niveau cellulaire sous l'effet d'une exposition chronique au polluant lumineux

Parmi les mécanismes moléculaires invoqués, certains ciblent directement les photorécepteurs. (3) d'autres impliquent l'épithélium pigmentaire rétinien altéré par la libération de radicaux libres oxygénés et surchargé de déchets métaboliques (RPE) (4). Ce mécanisme se rapprocherait le mieux de la pathogénie de la Dégénérescence Maculaire Liée à l'Age (DMLA)

La Dégénérescence Maculaire Liée à l'Age

Pour des raisons évidentes, liées à l'allongement de l'espérance de vie, la DMLA, constitue actuellement la première cause de cécité légale (<1/20 meilleur œil corrigé) dans les pays développés. Les données épidémiologiques confirment que le vieillissement et l'hérédité sont des facteurs essentiels puisque l'incidence de la maladie passe de 1,6 % entre 52 et 64 ans, à 11 % entre 65 et 74 ans pour atteindre 28 % entre 75 et 85 ans (5). et le risque relatif est en moyenne multiplié par 3,9 en cas d'antécédents familiaux chez l'un des parents, surtout en cas de dégénérescence colloïde familiale (6). A un moindre degré, le tabagisme, l'hypertension artérielle, l'hypercholestérolémie constituent des facteurs de prédisposition.

L'incidence de la DMLA ne risquerait-elle pas d'augmenter après des années d'exposition à ces nouvelles sources lumineuses ? De nombreuses études plaident en ce sens.

L'exposition excessive à la lumière solaire dans le jeune âge (7), l'exposition chronique à des lumières intenses (8) peuvent être des facteurs de risque pour l'apparition d'une DMLA comme le souligne en 2019, l'Agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES) (9)

Les guides de haute montagne sont plus sujets à la DMLA que le reste de la population.

En terme de photo-protection, seuls les verres teintés jaune-orangé filtrent entre 30 et 60% de la bande bleue photo-toxique, le bleu étant neutralisé par sa complémentaire jaune. Les verres ophtalmiques traités anti-bleu réfléchissent les rayons et n'en filtrent qu'entre 6 et 12%.

Outre la prise en charge des facteurs généraux de prédisposition, la photo-protection s'avère d'autant plus cruciale que, d'évidence, les deux autres facteurs majeurs de DMLA, l'âge et l'hérédité, sont inaccessibles à une action préventive ou curative. Cette photo-protection s'adresse aussi aux enfants dont les cristallins sont particulièrement translucides et aux opérés de la cataracte dont les implants n'ont pas le pouvoir de filtration des cristallins d'origine

La dérégulation du cycle veille-sommeil

Le 16 juillet 1962, le spéléologue français Michel Siffre s'enfonce dans le gouffre de Scarasson pour un séjour de deux mois sous terre sans aucun repère temporel ni information de la surface.

Il peut néanmoins faire connaître ses heures de repas, de lever et de coucher. Quand il revient à l'air libre le 14 septembre, il se croit encore au 20 août 1962 !

Il note à son retour : « *Mes camarades de surface ont vite constaté que mon rythme biologique se décalait : je me réveillais et me couchais un peu plus tard chaque jour, jusqu'à ce que mon rythme s'inverse totalement, comme si j'avais franchi à grande vitesse les fuseaux horaires dans le sens est-ouest avant de revenir à la normale et ainsi de suite.* »

Il en conclut « *Sous terre, sans repères, c'est le cerveau qui crée le temps* »(10).

Cette expérience prouve l'existence dans le cerveau d'une horloge endogène. Cependant cette horloge n'est pas exacte car elle retarde d'environ une demi-heure chaque jour. En trois semaines ce décalage transforme une activité diurne en une activité nocturne.

C'est là qu'intervient la lumière comme puissant synchroniseur externe.

Les mêmes constatations de désynchronisation ont été corroborées par de nombreuses expériences en isolement temporel dans des abris antiatomiques pendant la guerre froide, et par l'observation des bouleversements du comportement pré et post opératoire de nouveau-nés aveugles et de patients très âgés grabataires et aveugles. Ces nouveau-nés trop calmes et indifférents à l'entourage, ces vieillards totalement désorientés, somnolents le jour et agités la nuit, acquièrent immédiatement le cycle veille-sommeil après intervention de leur cataracte.

Cette désynchronisation pourrait expliquer les inconforts causés par le décalage horaire.

On sait maintenant que cette horloge interne, appelée *oscillateur moléculaire circadien* est située dans une structure cérébrale médiane de l'hypothalamus antérieur sous le contrôle de gènes spécifiques(11).

«*L'univers m'embarrasse, et je ne puis songer / que cette horloge existe et n'ait point d'horloger* ».

La variabilité individuelle de son rythme ($24h \pm 30$ minutes) est corrigée par la lumière solaire naturelle, synchroniseur majeur, dont dépend quotidiennement la remise à l'heure de l'horloge (12).

L'exposition à la lumière artificielle la nuit entraîne une désynchronisation du rythme veille-sommeil et la perturbation de la sécrétion nocturne physiologique de la mélatonine. Il en résulte non seulement des troubles mineurs tels que l'insomnie chronique, la fatigue persistante, les troubles de la mémoire, les troubles de l'humeur allant jusqu'à la dépression ou l'agressivité, mais aussi une diminution de la vigilance augmentant le risque des accidents de la route et du travail.

Les travailleurs de nuit, nombreux dans l'industrie et dans les métiers de service (transport, santé, police, pompiers...), ainsi que les adolescents grands utilisateurs d'écrans tard la nuit y sont particulièrement exposés(13). Mais, de plus, cette désynchronisation augmente le risque cardio-vasculaire et, chez la femme, entraîne une augmentation significative du risque relatif (RR) de cancer du sein lorsqu'elle travaille au moins trois nuits par semaine pendant 20 ans, comme il a été montré chez des infirmières américaines (14). A l'inverse, il a été observé une diminution de la prévalence du cancer du sein chez les femmes aveugles (15) De sorte que le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé en 2007 le travail de nuit dans le groupe 2A des « cancérogènes probables » (16).

Les animaux, qu'ils soient proies ou prédateurs nocturnes sont évidemment perturbés par la diminution de la période d'obscurité et l'on a constaté que le raccourcissement de quatre heures de nuit perturbe le chat dans sa nutrition, le rendant obèse et diabétique(17).

LA POLLUTION VISUELLE

La pollution visuelle est la conséquence de ces images qui dégradent quotidiennement l'environnement : enseignes criardes, harcèlement visuel par des panneaux d'affichage racoleurs, profusion de panneaux de signalisation parfois déroutants, intrusion de spots publicitaires impérieux, violence des jeux vidéo, assuétude à la pornographie.

Elle n'épargne pas les enfants qui s'approprient très vite les nouvelles technologies de l'information (18)

Certes il est incontestable qu'elles sont une source de culture et d'acquisition des connaissances. Mais l'utilisation trop précoce des écrans, moins de deux ans d'âge, et trop intense, plus de deux heures par jour, facilite le développement de la myopie par une privation de la lumière solaire naturelle et par un usage excessif des écrans en vision de près qui sollicite en permanence le réflexe d'accommodation (19-20)

Elle expose au manque de sommeil, aux troubles de l'attention, de la concentration, mais aussi au grignotage et à l'obésité (21).

Mais elle expose aussi à l'acquisition précoce des données personnelles, à l'exploitation des renseignements traités par les moyens de l'intelligence artificielle, au ciblage de la publicité quand ce n'est pas au cyber-harcèlement.

Les réseaux sociaux n'ont pas tardé à créer de nouvelles applications adaptées spécifiquement aux enfants afin de s'assurer, au plus tôt, de la fidélité des plus jeunes, futurs consommateurs de demain.

Le risque de formatage des esprits n'est pas loin.

LA POLLUTION DE L'ESPRIT

Cette pollution de l'esprit s'illustre particulièrement dans la publicité « marketing » et dans les médias. Ses messages suggestifs ont plutôt tendance à s'inspirer des pulsions les plus primitives : envie, gourmandise, paresse, luxure, avarice, colère, orgueil plutôt que des vertus théologales ou morales. Pour les uns « *Votre argent m'intéresse ...* » pour d'autres « *Aujourd'hui, j'enlève le haut....* ». Comment ne pas imaginer que le matraquage quotidien des esprits par des images de violences, de dégradations, de criminalités n'aient pas d'influence sur des esprits faibles ou influençables rivés, selon les statistiques, au moins quatre heures par jour devant leurs « *étranges lucarnes* »?

Si les messages subliminaux ont pu être utilisés dans la publicité et la propagande, en particulier au cours de certaines campagnes électorales, l'efficacité de ces techniques reste encore controversée (22).

Qui plus est, deux raisons militent contre l'usage de ces images subliminales.

L'efficacité d'un message publicitaire étant corrélé au nombre de fois qu'il aura été clairement diffusé, quel intérêt y aurait-il pour une marque ou un parti politique à le cacher dans cette immense vitrine qu'est la publicité où il peut être martelé des milliers et des milliers de fois ?

Enfin, si cette intrusion dans le domaine de l'inconscient venait à être découverte, son caractère éminemment frauduleux, vécu comme une supercherie, ne manquerait pas d'être hautement contre-productif.

Ces stimuli incorporés dans un support et conçus pour être perçus au-dessous du niveau de conscience ont été utilisés dans des images subliminales (23-24). L'insertion de ces messages

de 0,04 seconde perçus inconsciemment au sein des 24 images par seconde émises par le cinéma, la vidéo et la télévision est théoriquement interdite.

CONCLUSION

Par de mauvais usages, la bienfaisante lumière peut devenir une redoutable pollueuse. L'exposition à de nouvelles sources lumineuses artificielles comportant une forte émission de lumière bleue dans la bande 380-500 nm, proche du rayonnement ultra-violet dont on connaît la photo-toxicité pour la rétine maculaire, est particulièrement délétère. Elle constitue ainsi, avec l'âge et l'hérédité, un des facteurs majeurs de la dégénérescence maculaire liée à l'âge. De plus son usage inapproprié la nuit empêche la régénération nocturne des pigments visuels, et perturbe le cycle veille-sommeil avec toutes ses conséquences sur la santé physique et mentale.

Enfin, les images qu'elle véhicule frôlent parfois le harcèlement visuel. La surinformation qu'elle porte n'est pas toujours loin de la désinformation de façon consciente ou subconsciente. Elle pourrait conduire à une sorte de cécité mentale.

Mais parmi toutes les causes de cécité, il en est une autre contre laquelle on reste encore bien souvent démuni. La plus implacable, la plus universelle aussi. Celle qui est incarnée dans un personnage vêtu de rouge, sa canne d'aveugle à la main, dans Sémélé de Haendel. Ce personnage c'est Cupidon, Cupidon le Dieu de l'amour, car l'amour rend aveugle.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) Lewy AJ, Wehr, TA, Goodwin FK, Newsome DA, Markey SP. Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science* 1980; 210 :1267-9.
- 2) Torriglia A, La toxicité rétinienne des diodes électroluminescentes (Light Emitting Diodes). *Bull. Acad. Natle Méd*, 2018, 202, n° 3-4, 585-596
- 3) Krigel A, Berdugo M, Picard E, Levy-Boukris R, Jaadane I, Jonet L *et al.* Light-induced retinal phototoxicity damage using different light sources, protocols and rats strains reveals LEDs phototoxicity. *Neuroscience*. 2016; 339 : 296-307
- 4) Moon J, Yun J, Yoon YD, Park SI, Seo YJ, Park WS *et al.* Blue light effect on retinal pigment epithelial cells by display devices. *Integr Biol* 2017; 9: 436-443
- 5) Lee PP, Feldman ZW, Ostermann J, Brown DS, Sloan FA. Longitudinal prevalence of major eye diseases. *Arch Ophthalmol*. 2003;121:1303-10.
- 6) Dufier J.L.,Kaplan J. *Oeil et génétique* 1 vol, 600p, Masson Edit 2005
- 7) Tomany SC, Karen MS, Cruickshanks J, Klein R, Klein BEK, Knudtson M. Sunlight and the 10-Year Incidence of Age-Related Maculopathy. The Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol*. 2004; 122:750-757
- 8) Schick T, Ersoy L, Lechanteur YT, Saksens NT, Hoyng CB, den Hollander AI *et al.* History of sunlight exposure is a risk factor for Age-Related Macular Degeneration. *Retina*. 2016; 36:787-90.

- 9) ANSES, 2019. Agence nationale de sécurité sanitaire, alimentation, santé. Effets sur la santé humaine et sur l'environnement (faune et flore) des diodes électroluminescentes (LED). Rapport d'expertise collective (Édition scientifique).
- 10) Oléron G., Fraisse P., Siffre M., Zuili N., Les variations circadiennes du temps de réaction et du tempo spontané au cours d'une expérience "hors du temps". L'année psychologique P.U.F, 1970, vol. 70, 347-356
- 11) Lamont EW, James FO, Boivin DB, Cermakian N. From circadian clock gene expression to pathologies. *Sleep Med* 2007 ;8 :547-56.
- 12) Hughes S, Jagannath A, Hankins MW, Foster RG *et al.* Photic regulation of clock systems. *Methods Enzymol* 2015; 552:125-43.
- 13) Touitou Y, Touitou D, Reinberg A. Disruption of adolescents' circadian clock: The vicious circle of media use, exposure to light at night, sleep loss and risk behaviors. *J Physiol Paris*. 2016; 110 (4 Pt B):467-79.
- 14) Schernhammer ES, Laden F, Speizer FE, Willett WC, Hunter DJ *et al.* Rotating night shifts and risk of breast cancer in women participating in the Nurse Health Study. *J Natl Cancer Inst* 2001; 93: 1563–8.
- 15) Pukkala E, Verkasalo PK, Ojamo M, Rudanko SL. Visual impairment and cancer: a population-based cohort study in Finland. *Cancer Causes Control* 1999; 10: 13–20.
- 16) Straif K, Baan R, Grosse Y, Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V *et al.* WHO International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncol* 2007; 8: 1065–6.
- 17) Rosolen SG et Berdugo M. Phototoxicité rétinienne et pollution lumineuse : intérêts et apports de l'ophtalmologie vétérinaire ; *Bull. Acad. Vétérinaire de France* 2019;172:1-21
- 18) Bach JF, Houde O, Lena P, Tisseron S. L'enfant et les écrans .Institut de France. Paris. Le Pommier ;2013 : 267pp .
- (19) Sanchez-Tocino H, Villanueva Gómez A, Gordon Bolanos C. et al. L'effet de la lumière et du temps passé dehors, à la lumière naturelle, dans la progression de la myopie chez les enfants. *J. Franç. d'Ophtalmologie*. 2019;42 :2-10
- 20) Ip JM, Saw SM, Rose KA, Morgan IG, Kifley A, Wang JJ et al. Role of near work in myopia : findings in a sample of Australian school children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008;49 ;2903-10 :
- 21) Owens J. Adolescent Sleep Working Group. Insufficient sleep in adolescents and young adults: an update on causes and consequences. *Pediatrics* 2014;134: e921–32.
- 22) Dehaene S., Naccache L et al. Imaging unconscious semantic priming. *Nature*. 1996 ; 395 :597-600.
- 23) Volkoff V .Petite histoire de la désinformation. Rocher, 1999 :187

24) Stroebeb J.C Clausb W J. The impact of subliminal priming and brand choice.
Karrremansa J. Exp. Soc. Psychol. 2006, 42 ; 6 :792-798

fig.1 : COUPE DE RETINE (in J.L. DUFIER ET KAPLAN, ŒIL ET GENETIQUE
MASSON Edit 2005)

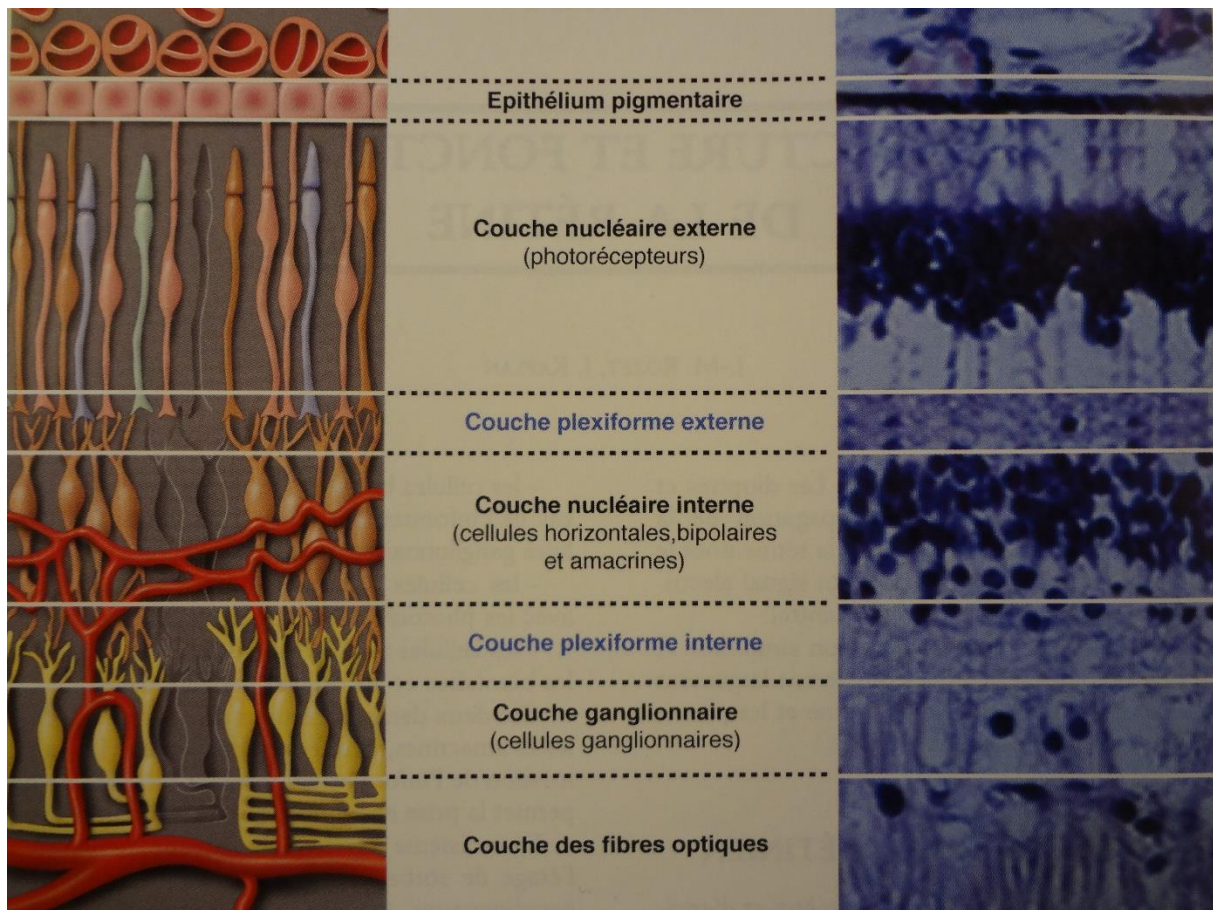


fig.2 : LE DESEQUILIBRE SPECTRAL (in TORRIGLIA A., Bull.Acad.Natle méd.,2018,
202,585-596)

