

Les dangers de la lumière bleue : mythe ou réalité ?

Professeur Gilles RENARD

Paris

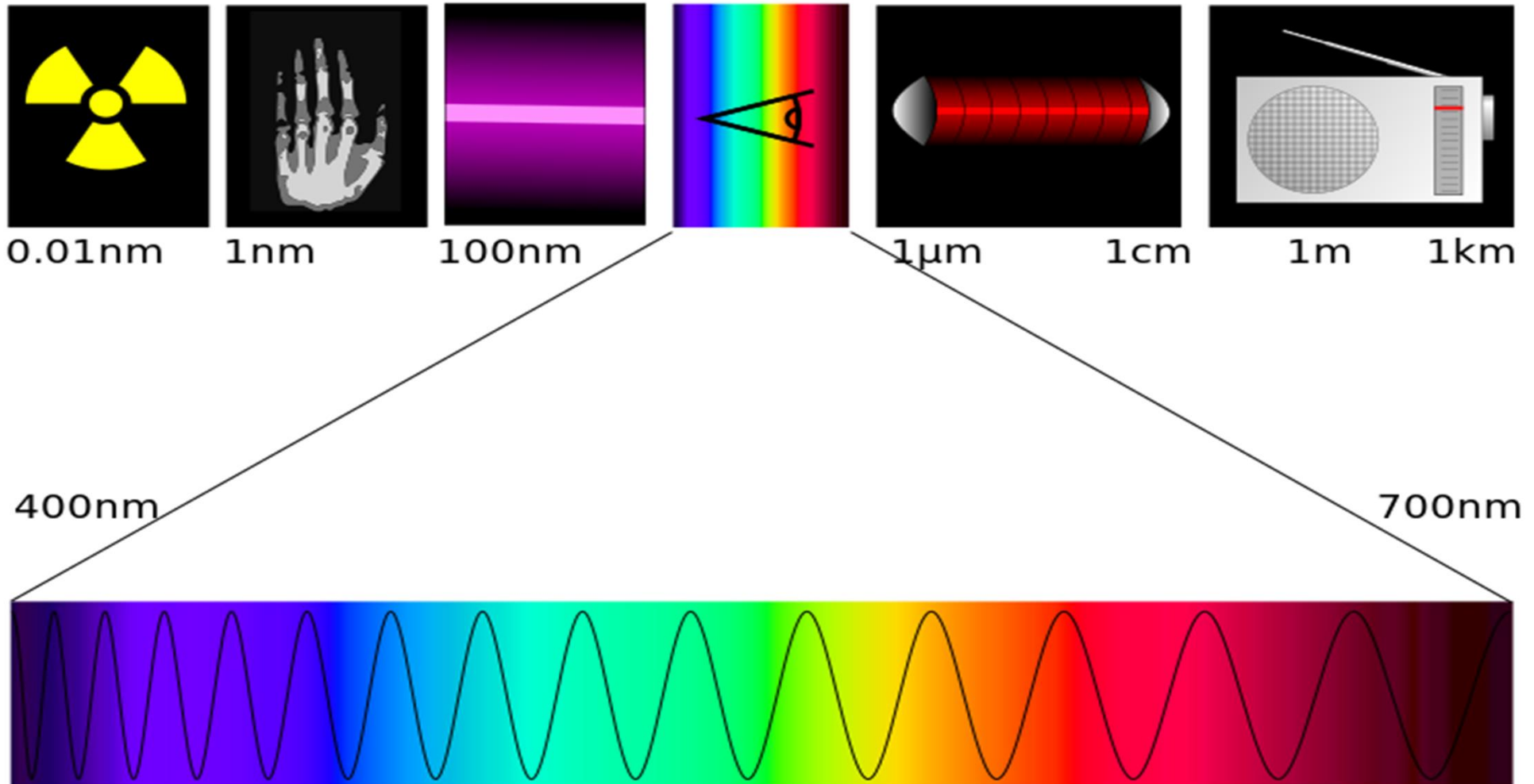
Sommaire

- Qu'est-ce que la lumière ?
- Qu'est-ce que la lumière bleue ?
- D'où provient la lumière bleue ?
- Quels sont les effets sur l'œil humain ?
 - Surface oculaire
 - Rétine
 - Sécrétion de mélatonine
- Comment s'en protéger ?

Qu'est-ce que la lumière ?

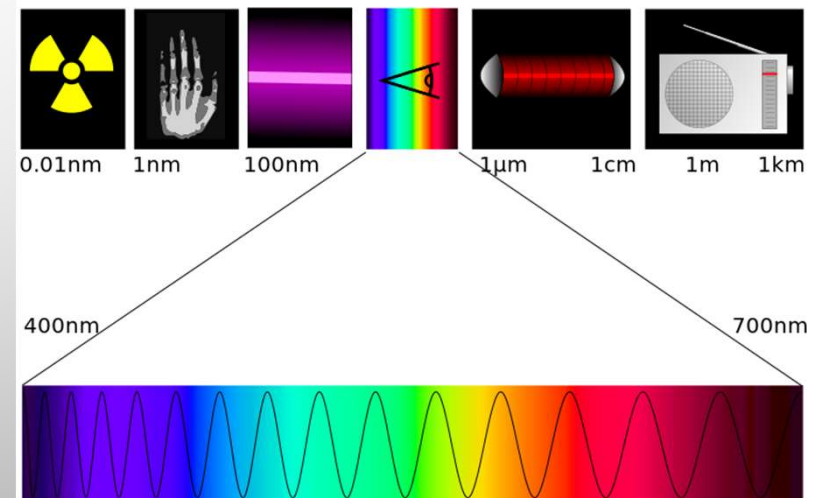
- C'est une onde électromagnétique
- Elle est transmise par un photon :
 - Particule élémentaire (Boson)
 - Masse nulle ou négligeable
 - Vitesse de la lumière (300 000 Km/s)
- Elle a une énergie fonction de sa longueur d'onde :
 - Importante pour les courtes longueurs d'onde (vers le bleu)
 - Faible pour les grandes longueurs d'onde (vers le rouge)

Spectre électromagnétique



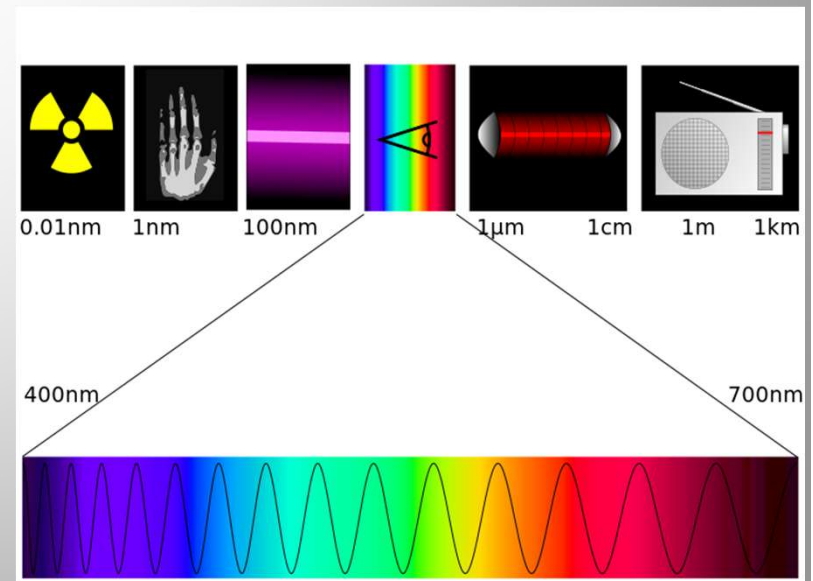
Lumière et œil humain

- Une grande partie du spectre électromagnétique n'est pas perçue par l'œil.
- La partie perçue est celle qui pénètre dans l'œil et est transformée en influx électrique par la rétine puis transmise au cerveau
- Nous sommes aveugles dans l'ultra-violet et l'infra-rouge.



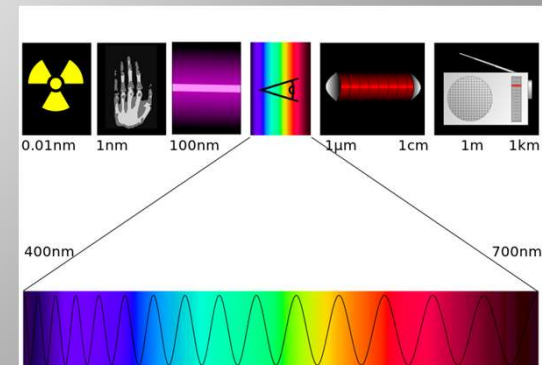
Lumière et œil humain

- L'œil bloque les ultra-violets (cornée et cristallin)
- Il bloque l'infra-rouge proche (cristallin)
- Il laisse passer toute la gamme visible dont le bleu.
- Ce bleu est beaucoup plus énergétique que le reste du spectre lumineux



Quelle lumière pénètre dans l'œil ?

- Il est difficile de définir avec précision le spectre visible car la pénétration de la lumière dans l'œil varie avec l'âge et les individus.
- Il faut donc se référer à la Commission internationale de l'éclairage (CIE) qui définit une vision de référence entre une longueur d'onde dans le vide de 380 nanomètres (nm) dans le bleu et une longueur d'onde dans le vide de 780 nm dans le rouge.
- Le spectre visible occupe la majeure partie de la gamme des longueurs d'onde qui sont transmises par l'atmosphère terrestre.



Dans le spectre lumineux les niveaux d'énergie ne sont pas identiques

- Plus on va vers le bleu, plus le photon est riche en énergie :
 - D'autant plus riche que l'on approche de l'ultraviolet
 - On ne le ressent pas car il traverse l'épiderme
 - Il libère son énergie sous forme de chaleur sous la peau
 - Il crée le « coup de soleil » (brûlure) par action sur les couches sous cutanées.
 - Cette brûlure n'est ressentie qu'après l'exposition
- Plus on va vers le rouge, plus l'énergie du photon est faible :
 - on ressent la chaleur du soleil car le photon est arrêté par les couches superficielles de la peau et y libère son énergie
 - Mais on observe peu de brûlures thermiques par le soleil

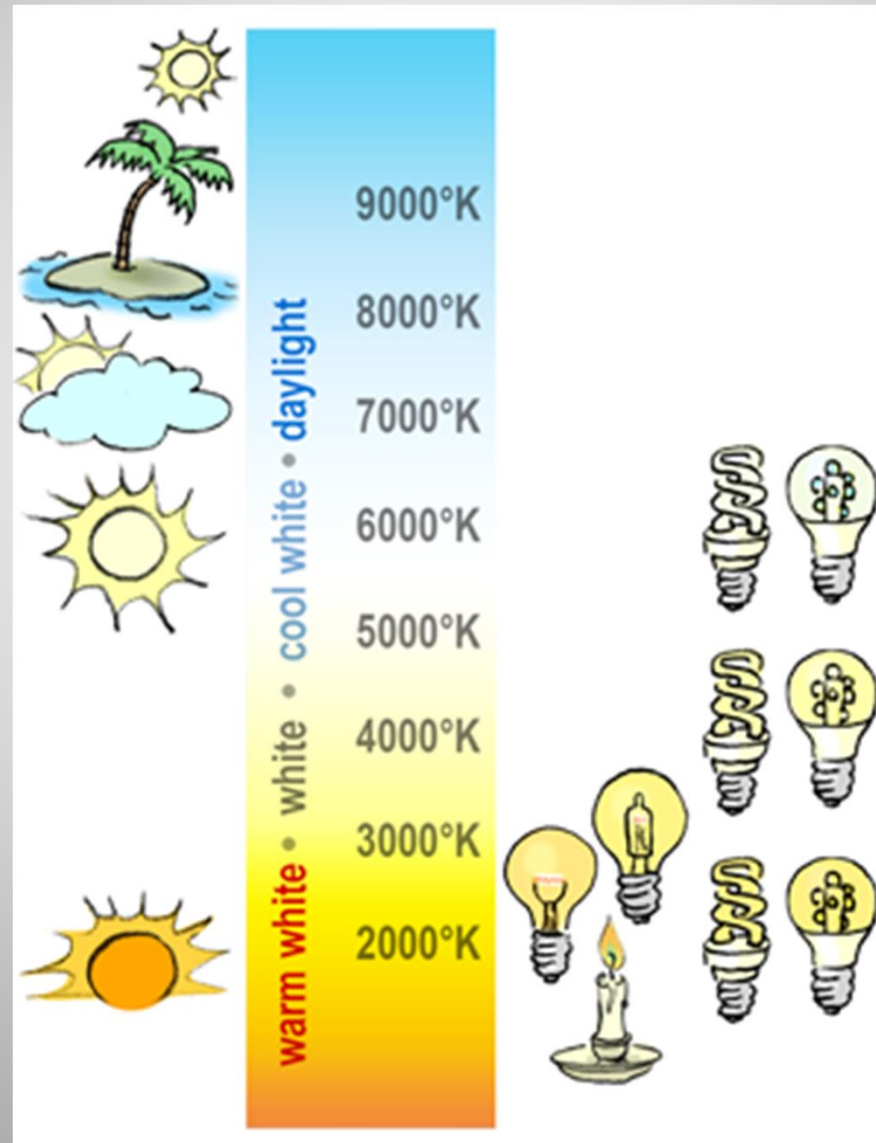
Rappel de quelques termes techniques

- **Le lumen** est l'unité utilisée pour quantifier le flux lumineux. Elle exprime la quantité **totale** de lumière émise par une source lumineuse dans toutes les directions.
- **La candela (cd)** est l'unité utilisée pour exprimer l'intensité lumineuse, c'est-à-dire la quantité de lumière émise **dans une direction donnée**.
- **La luminance** exprime la quantité de lumière reçue sur une surface donnée (cd/m²).
 - Neige au soleil : 10 000 cd/m²
 - Ciel bleu : 5000 cd/m²
 - Téléviseur : 400 cd/m²
 - Ordinateur : 250 cd/m²
- On voit bien que les écrans de téléviseur ou d'ordinateur sont peu énergétiques par leur luminance par rapport à la lumière naturelle.

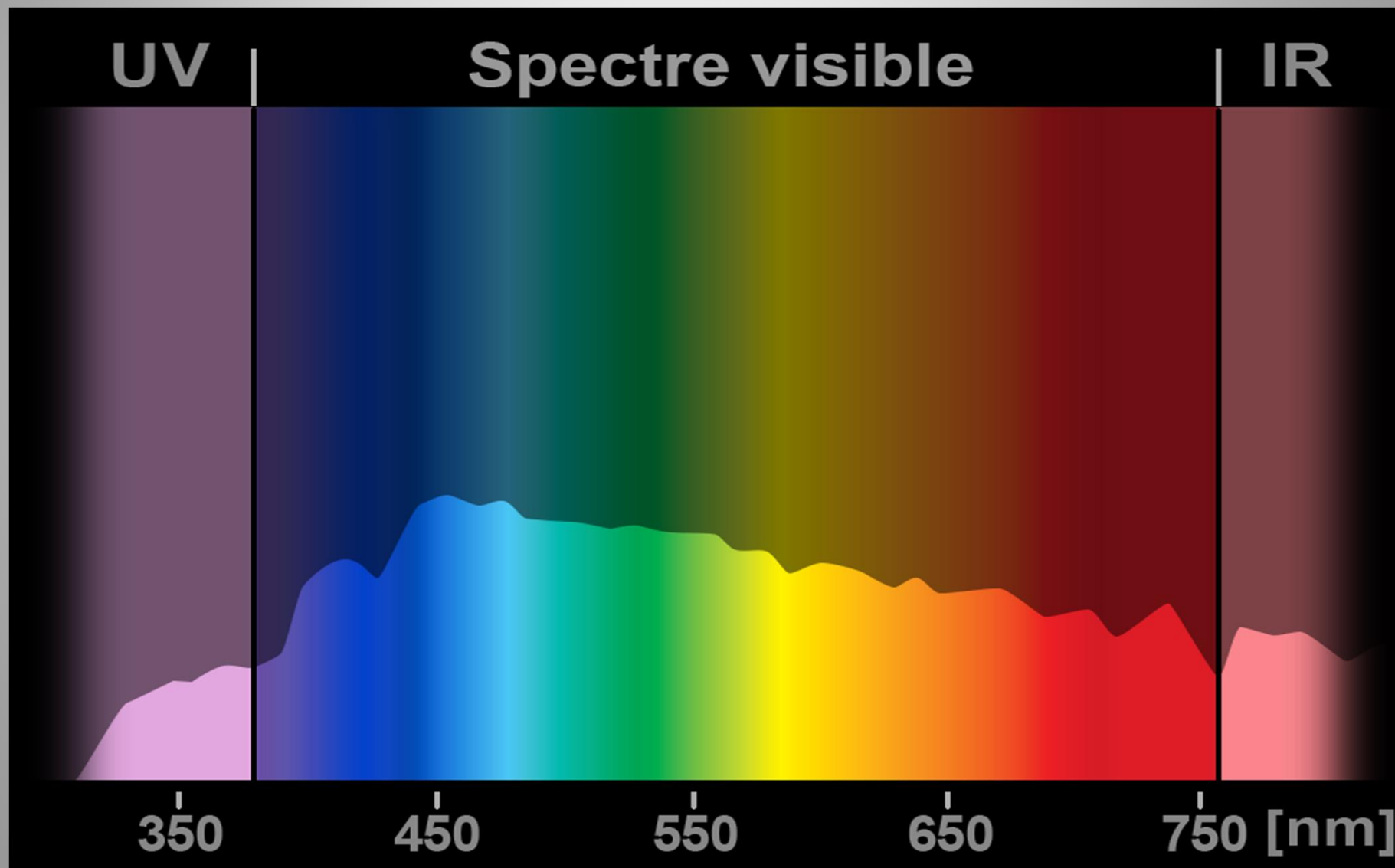
La notion de température de couleur

- La température de couleur est une définition physique qui permet de caractériser le spectre d'émission d'une source lumineuse.
- Cette température est indiquée par un chiffre en degré Kelvin (K).
- Elle est souvent indiquée sur l'emballage des lampes :
 - Warm white (blanc chaud) 2700 K
 - White (blanc neutre) 3000—4000 K
 - Cool white (blanc froid) 5000 K
 - Daylight (lumière du jour) > 6500 K
- L'indice de rendu des couleurs (IRC) est exprimé par un chiffre entre 0 et 100, le rendu des couleurs est d'autant meilleur que ce chiffre est élevé.
- Le grand public préfère les LED domestiques froides (6000 K) car notre cerveau recherche spontanément une lumière proche de celle du soleil.
- **La température de couleur des écrans OLED monte jusqu'à 6800 K.**

Température de couleur

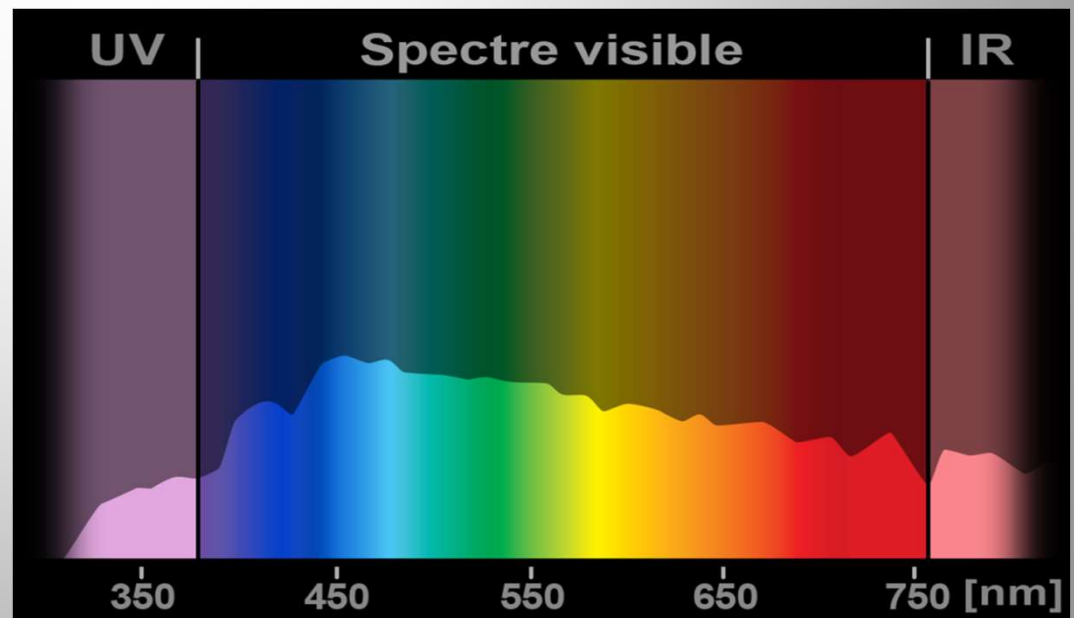


Exemple de spectre lumineux :
Lumière du jour à midi (6000 K).



Qu'est-ce que la lumière bleue ?

- On définit sous ce terme la lumière dont la longueur d'onde est comprise entre 415 et 455 nm.
- Elle correspond au bleu violet
- A ne pas confondre avec le bleu turquoise entre 455 et 485 nm



La lumière bleue

- Agit sur le film lacrymal
- Pénètre dans l'œil facilement :
 - Surtout chez l'enfant car les milieux sont particulièrement transparents pour ces longueurs d'onde
 - Moins chez l'adulte car le cristallin jaunit et stoppe le bleu extrême
- Atteint la rétine et y délivre son énergie
- Elle est capable d'agir sur d'autres cellules que les photorécepteurs classiques et d'inhiber la sécrétion de mélatonine

D'où provient la lumière bleue ?

- Du soleil
- De l'éclairage domestique :
 - Lampes à incandescence
 - Lampes fluo
 - LED
- Des écrans :
 - Téléviseurs
 - Ordinateurs
 - Tablettes et smartphones
 - Casques de réalité virtuelle
- Chaque émetteur a son propre spectre et donc sa propre température de couleur
- Plus la température de couleur est élevée, plus il y a de la lumière bleue toxique

LED : Light Emitting Diode

- Composant électronique transformant l'électricité en lumière
- Avantages :
 - Faible consommation électrique
 - Longue durée de vie
 - Pas d'infra-rouge ni d'ultra-violet
- Inconvénients :
 - spectre riche en lumière bleue



Différents types de LED

- Selon leur spectre :
 - LED de couleur, quasiment monochromatiques
 - LED blanches, plusieurs longueurs d'onde
- Selon leur puissance :
 - Inférieure à 1 W : voyants lumineux
 - Supérieur à 1 W : éclairage
- Pour l'éclairage on associe souvent des LED de forte puissance accolées

Les LED blanches

- Ce n'est qu'en 1990 que fut mise au point au Japon la LED bleue permettant la création de LED « blanches » (prix Nobel de physique 2014).
- La plupart des LED blanches sont des LED à luminophore (ou WPCLED pour *White Phosphor Coated Light Emitting Diode*), qui associent, par conception, une LED bleue à un luminophore qui convertit partiellement le bleu en jaune (l'association par le système visuel du bleu et du jaune donnant la sensation de lumière blanche).

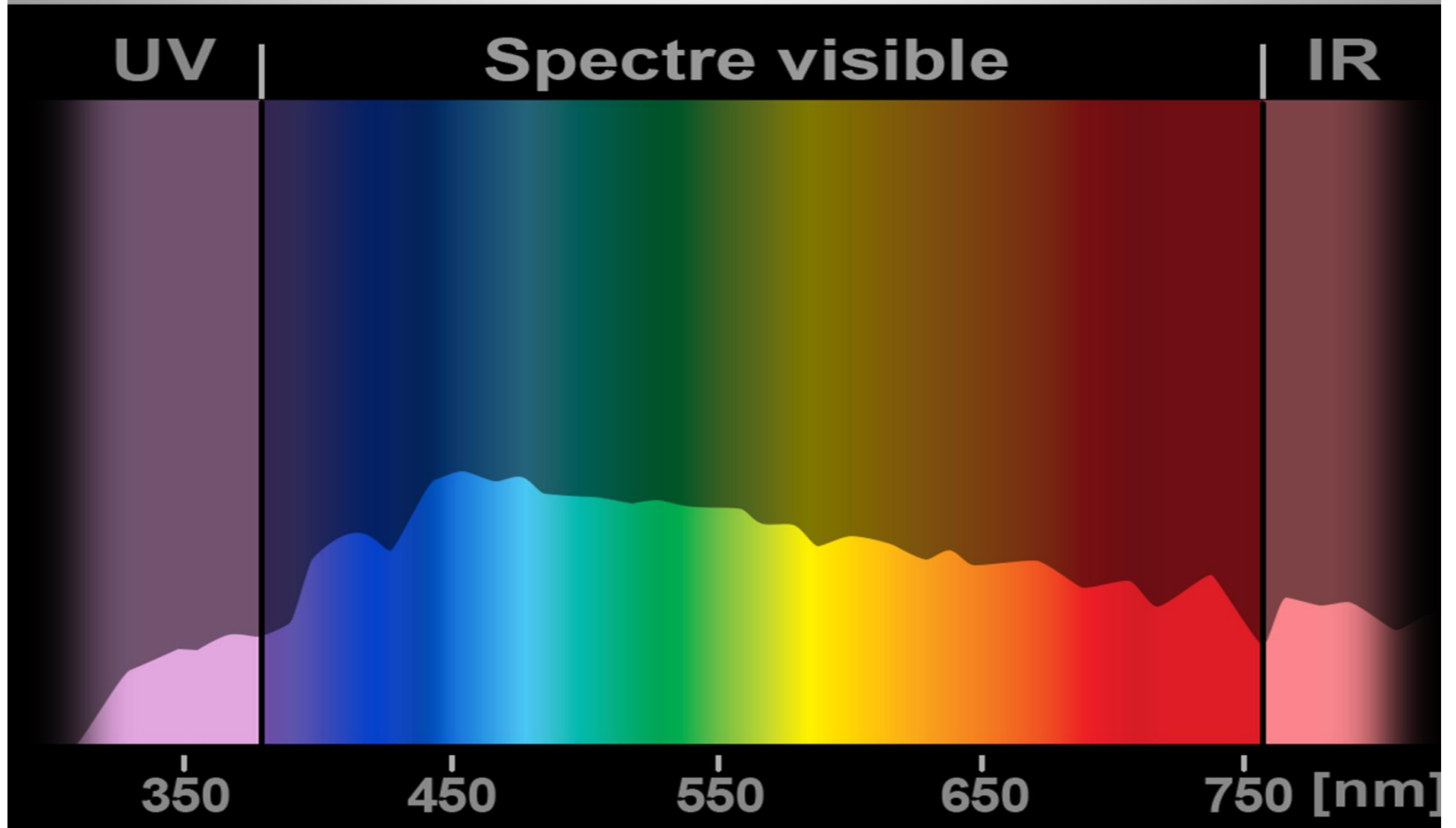
Groupes de risque des LED

- Classés selon la durée d'exposition à 20 cm
 - GR 0 : pas de risque si durée de 10 000 secondes (2,78 heures) = risque nul
 - GR 1 : durée de 100 secondes = risque faible
 - GR 2 : durée de 0,25 secondes = risque modéré
 - GR 3 : durée $< 0,25$ secondes = risque élevé
- La norme européenne EN 62560 n'autorise la commercialisation que de lampes LED des groupes 0 et 1

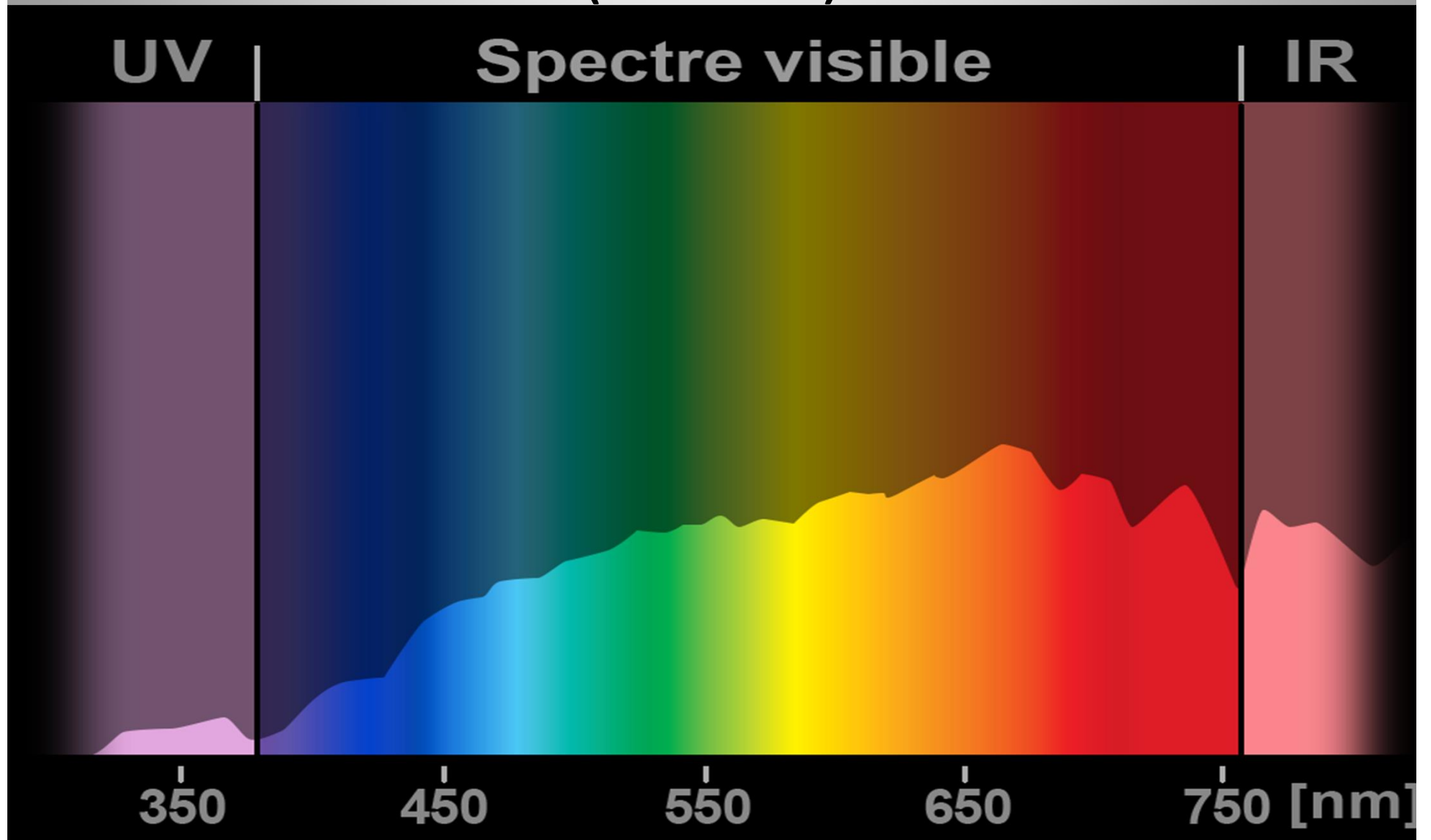
Les différents types de spectre lumineux

- Soleil
- Lampe halogène
- Lampe fluo
- LED « lumière du jour »
- LED « blanc chaud »

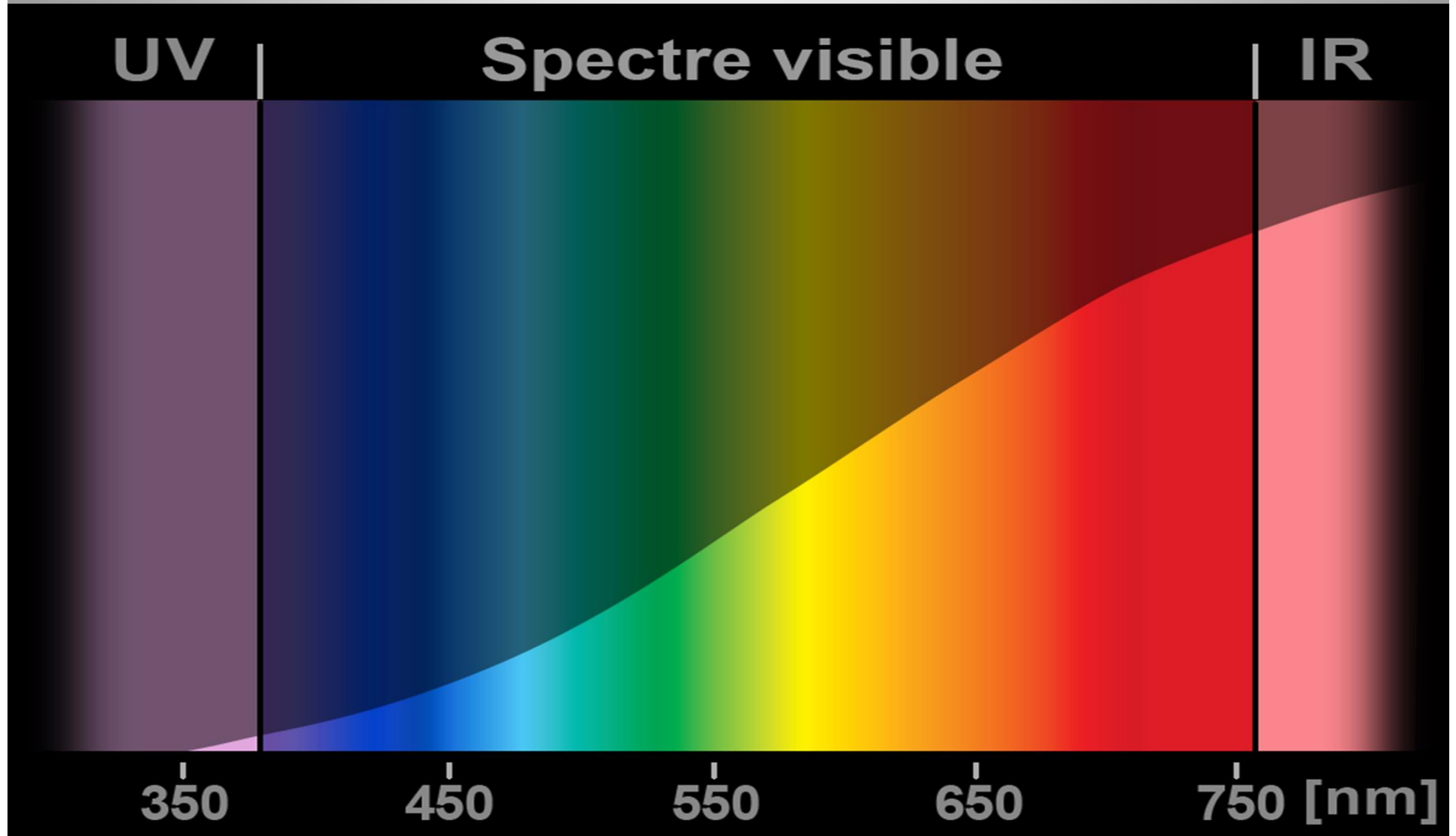
Lumière du jour à midi (6000 K)



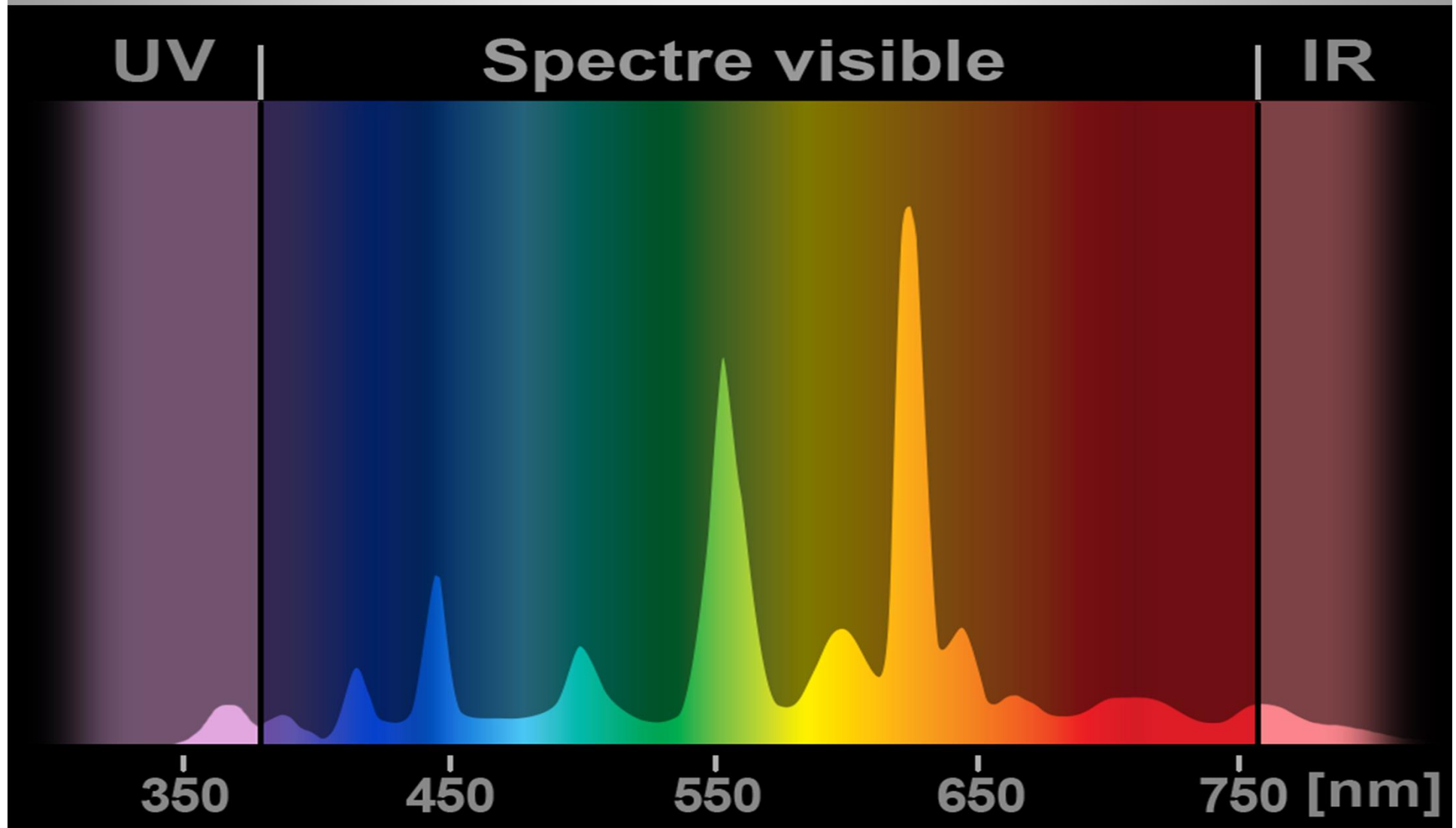
Lumière du jour au coucher du soleil (3000 K)



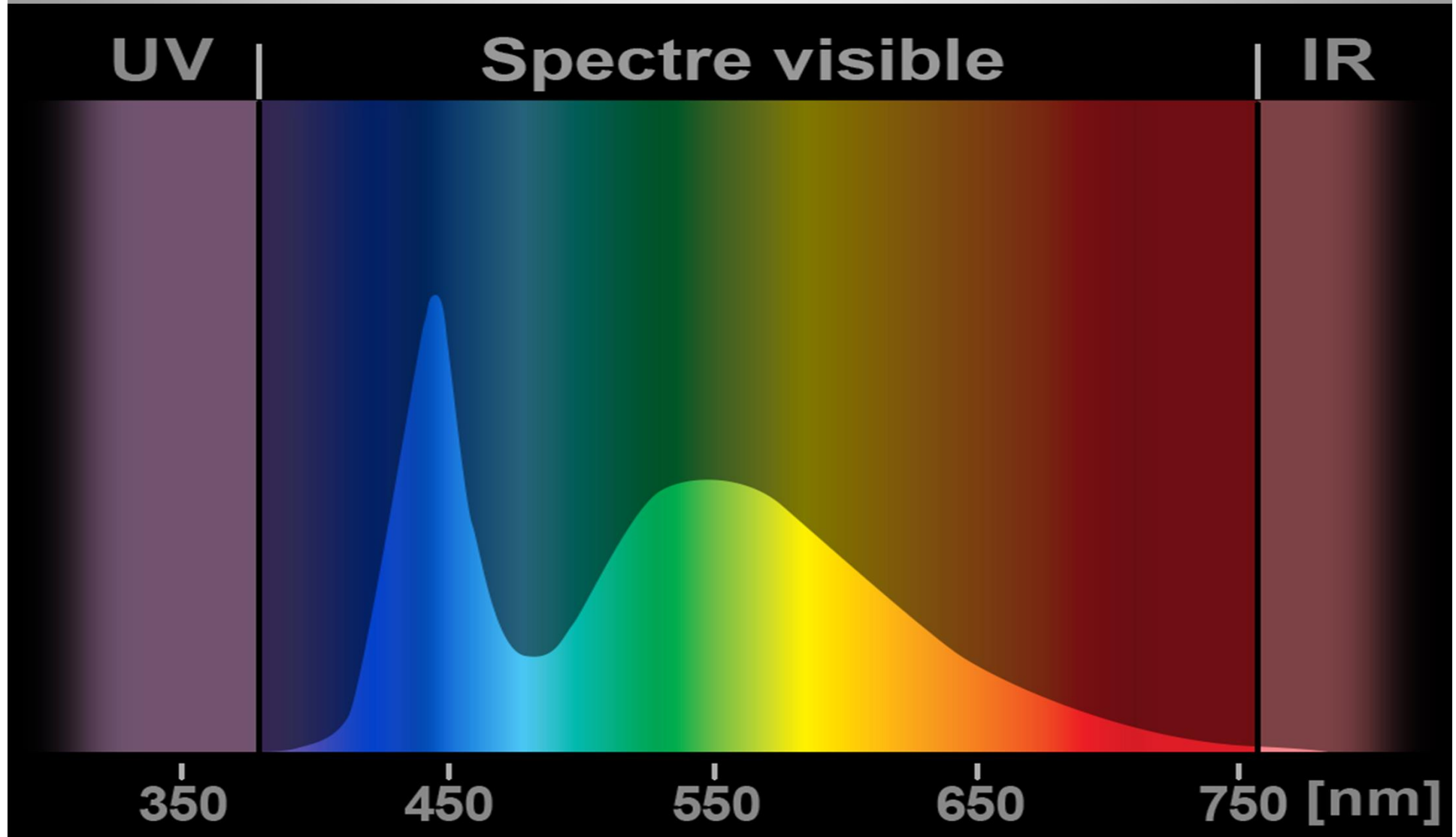
Lampe halogène (3000 K)



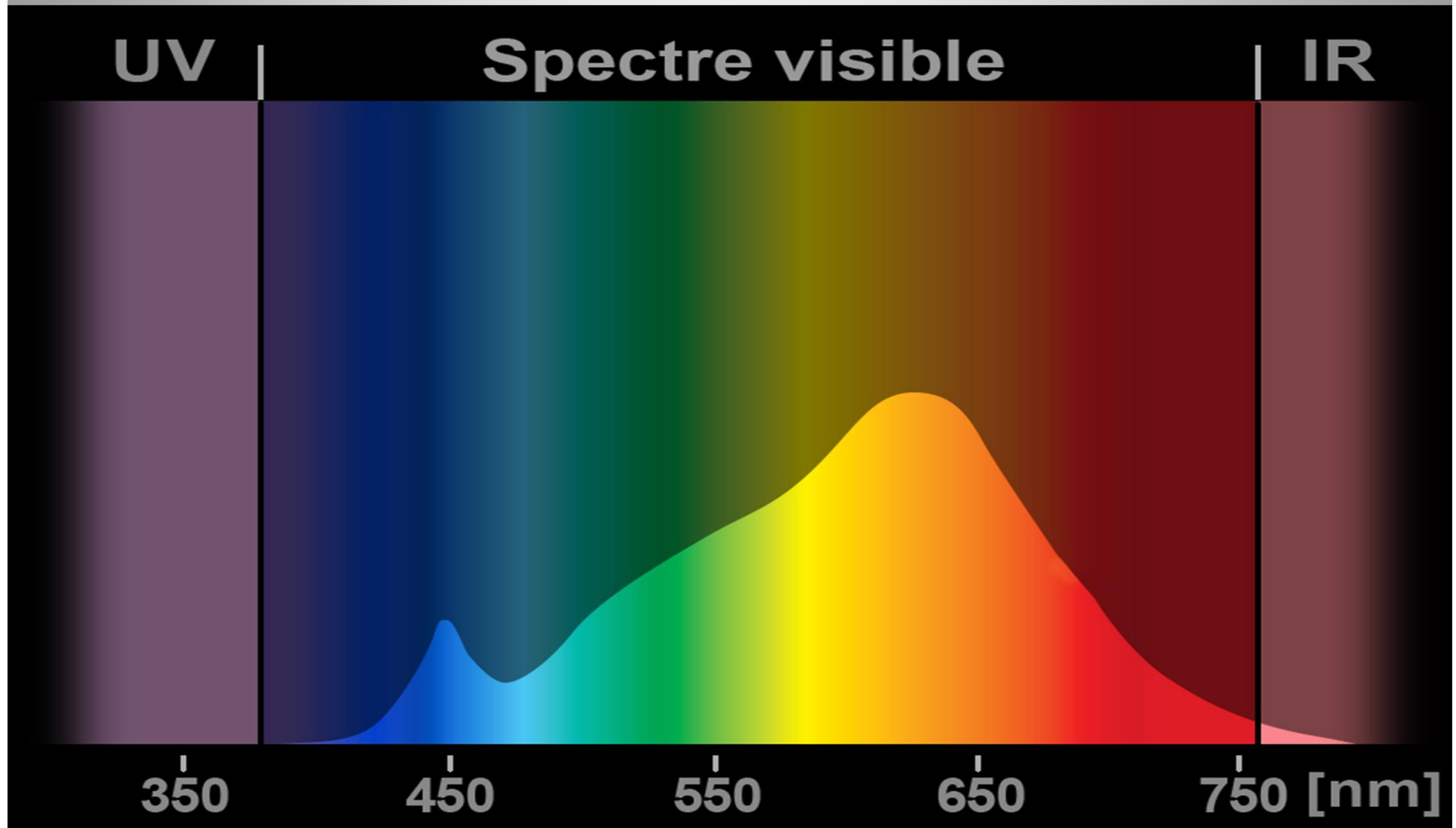
Lampe fluo compacte (4000 K)



LED « lumière du jour » (6000 K)



LED « blanc chaud » (2700 K)



Lumière bleue et principaux types d'écrans

- Le LCD classique



- Les écrans LCD rétroéclairés par LED

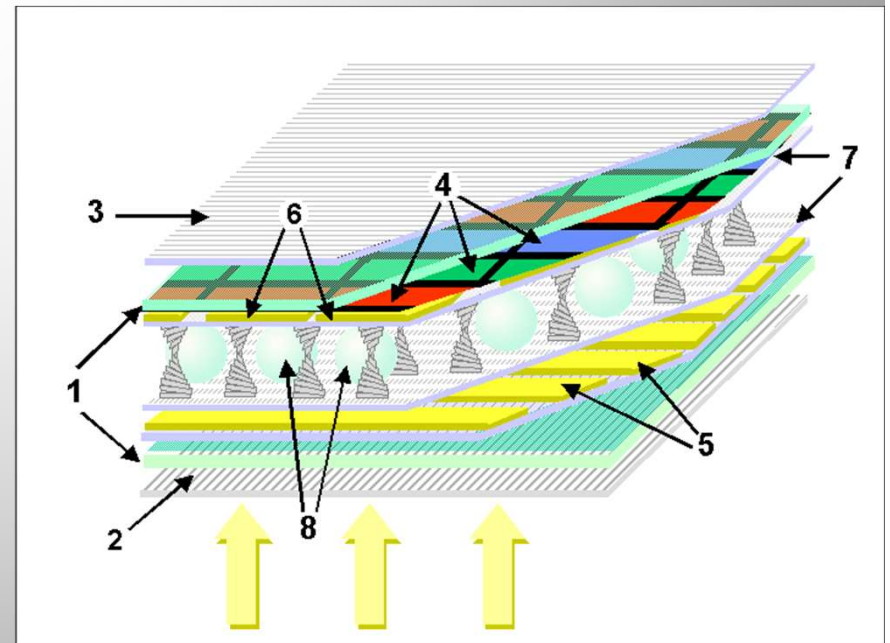
Même principe que le LCD classique mais diminution d'épaisseur

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



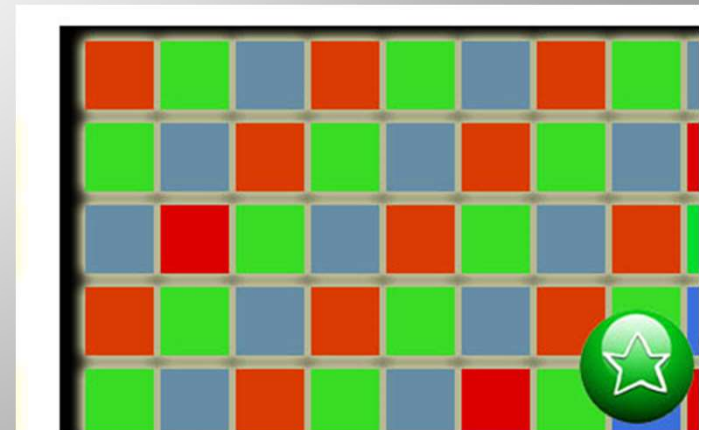
Le LCD (Liquid Cristal Display) classique

- Le plus courant pour les ordinateurs de bureau.
- La lumière est émise par un tube fluorescent ou des LED placés derrière l'écran.
- La lumière émise par ces tubes traverse la dalle LCD.
- Les cellules rouges, vertes et bleues formeront l'image finale perçue par l'utilisateur.
- Si une lumière bleue toxique est émise par les tubes, elle n'est pas transmise directement à l'utilisateur.
- Il y a très peu de risque.



Les écrans OLED (organic light emitting diode) ou AMOLED (Active organic light emitting diode)

- L'éclairage est fourni directement par des LED sans interface pour l'utilisateur.
- Chaque sous-pixel est une diode soit rouge, soit verte, soit bleue, qui émet sa propre lumière.
- Ne plus avoir de rétro-éclairage réduit considérablement l'épaisseur des écrans
- Ils sont donc très utilisés pour les tablettes et les smartphones.
- Les diodes peuvent émettre une lumière bleue toxique mais la quantité totale de lumière émise est faible par rapport à une diode de forte puissance utilisée pour l'éclairage domestique (10 à 20 fois moins)
- Le blanc n'est pas formé par une diode spécifique ayant trop de bleu mais par l'allumage simultané des 3 sous-pixels colorés.



Comment distinguer un écran LCD d'un écran OLED

- C'est l'épaisseur de l'écran qui vous donnera la réponse :
 - Ecran LCD : épaisseur > 3 cm car le rétroéclairage (Tubes fluo ou LED) prend de la place
 - Ecran OLED : épaisseur < 1 cm



Les risques des écrans

- L'exposition à la lumière bleue des écrans est fonction :
 - De la distance d'observation
 - 1 à 5 mètres pour un téléviseur
 - 70 cm pour un ordinateur
 - 40 cm pour une tablette
 - 30 cm pour un smartphone
 - 5 cm pour un casque VR
 - De la durée d'observation journalière
 - Quelques heures pour un adulte
 - Jusqu'à 8 heures pour un adolescent
 - Jusqu'à 12 heures pour certains postes de travail

Le pire du pire !

Les casques de réalité virtuelle (VR)

- La réalité virtuelle est un terme apparu dans les années 1970.
- C'est une technologie informatique qui simule la présence physique d'un utilisateur dans un environnement artificiellement géré par un ordinateur.
- La formulation correcte en français serait « virtualité réaliste » mais inapplicable aux jeux vidéos où la virtualité n'est pas réaliste.
- A ne pas confondre avec « réalité augmentée » où des informations générées par un ordinateur se superposent aux images réelles.
- L'écran est à moins de 5 cm des yeux !

Qui utilise la réalité virtuelle ?

- Les militaires
- Les pilotes
- Les chirurgiens
- Les chauffeurs
- Les enseignants
- Les psychiatres
- Les architectes
- Les ingénieurs

Quelques exemples

- Militaires
 - Soit avec un casque (pilotage de nuit, entraînement au parachute, au combat)
 - Soit sur écrans (simulateurs de vol pour pilotes).
- Médecins
 - Simulateurs chirurgicaux
- Chauffeurs
 - Simulateurs de conduite automobile
 - Permis de conduire du futur ?



Un exemple: HTC Vive

- 600 g
- Audio à ajouter (casque ou écouteurs)
- Sur PC
- 2 écrans OLED 1080x1200 90 Hz
- **Température de couleur maxi : 7824°K**
- Réglage partiel de l'écart pupillaire
- Nécessite 2 capteurs IR
- Des câbles partout !



Quels sont les effets de la lumière bleue sur l'œil humain ?

- Sur la surface oculaire et le film lacrymal
- Sur le cristallin
- Sur la rétine
- Sur la sécrétion de mélatonine

Toxicité pour la surface oculaire

- Un article d'une équipe chinoise en 2016 indique clairement que les LED sont toxiques pour le film lacrymal :
 - Les LED rouges et vertes n'entraînent que peu d'anomalies.
 - Les LED bleues provoquent un stress oxydatif, une apoptose (mort cellulaire) des cellules de la cornée, une réaction inflammatoire et une sécheresse oculaire.
- Ces anomalies sont aggravées par une atmosphère sèche (climatisation).
- Les conséquences sont :
 - Gène oculaire
 - Picotements, yeux qui brûlent
 - Impression de fatigue
 - Larmolement
 - Trouble visuel

Effets sur le cristallin

- Les ultra-violets ont été suspectés de favoriser l'apparition d'une cataracte
- Rien n'a été démontré pour la lumière bleue
- Il a été démontré que le cristallin possédait des cellules à mélanopsine produisant de la mélatonine (hormone du sommeil)
- Il a été démontré que la lumière bleue inhibait les cellules à mélanopsine

Toxicité pour la rétine

- La première étude scientifique date de 1966
- Un article publié en 2001 porte sur des singes exposés à deux sources émettant dans le bleu, un laser à 458 nm et une LED à 460 nm. Il n'y avait que très peu de différences entre les lésions dues au laser et celles dues aux LED. Les auteurs concluaient à un risque pour la rétine exposée à la lumière de LED émettant dans le bleu.
- En 2005 est publié un premier standard sur les LED sous l'égide du symposium IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).
- En 2010 l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) publie un rapport sur « Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED) »
- Deux articles d'équipes françaises vont renforcer cette suspicion envers la lumière bleue. Le premier publié en 2011 reprend l'essentiel du rapport de l'ANSES. Le second publié en 2013 porte sur des expériences in vitro sur des cellules de la rétine de porc. Des LED du commerce sont utilisées pour simuler la lumière du soleil à différentes longueurs d'onde de 390 à 520 nm. Les longueurs d'onde les plus toxiques pour la rétine sont entre 415 et 455 nm.
- Les lésions observées chez l'animal ressemblent beaucoup à celles observées chez l'homme dans la DMLA (Dégénérescence Maculaire Liée à l'Age)

Toxicité pour la rétine

- Il n'y a aucune preuve scientifique directe de la toxicité de la lumière bleue sur la rétine de l'humain
- Les lésions rétiniennes sont cumulatives dans le temps et les anomalies graves n'apparaîtront qu'après des dizaines d'années
- Les enfants dont la durée de vie correspond à ce temps long sont les plus à risque
- Le principe de précaution veut que l'on s'en soucie dès maintenant

Effets sur la sécrétion de mélatonine

- La lumière bleue inhibe les cellules fabriquant la mélatonine (cristallin, rétine et glande pinéale) à partir de la sérotonine.
- La mélatonine est normalement synthétisée la nuit, en l'absence de lumière, et favorise le sommeil.
- **La lumière bleue favorise la fonction d'éveil** et retarde l'endormissement donc l'usage d'écrans le soir est déconseillé
- Elle peut être utile pour lutter contre le sommeil (usage automobile).

Lumière bleue et mélatonine

- La mélatonine n'a pas qu'un effet sur le sommeil
- Elle participe à :
 - La régulation de la glycémie
 - La régulation de l'appétit
 - La fonction antioxydante de protection des cellules
 - Les fonctions immunitaires
- La lumière bleue diminue toutes ces fonctions
- On a montré que l'usage d'une tablette pendant 2 heures diminue de 30% le taux de mélatonine

Comment se protéger de la lumière bleue ?

- Eclairage domestique : n'acheter que des LED « blanc chaud » 2700 K
- Soleil : porter des verres teintés
- Ecrans : faible efficacité car :
 - 1^{er} principe : on ne peut pas enlever tout le bleu d'une image numérique car c'est l'un des 3 constituants de base de l'émission d'une image colorée.
 - 2^e principe : un filtre n'est efficace que dans une bande très étroite du spectre.
- Filtres

Bien choisir ses lunettes !

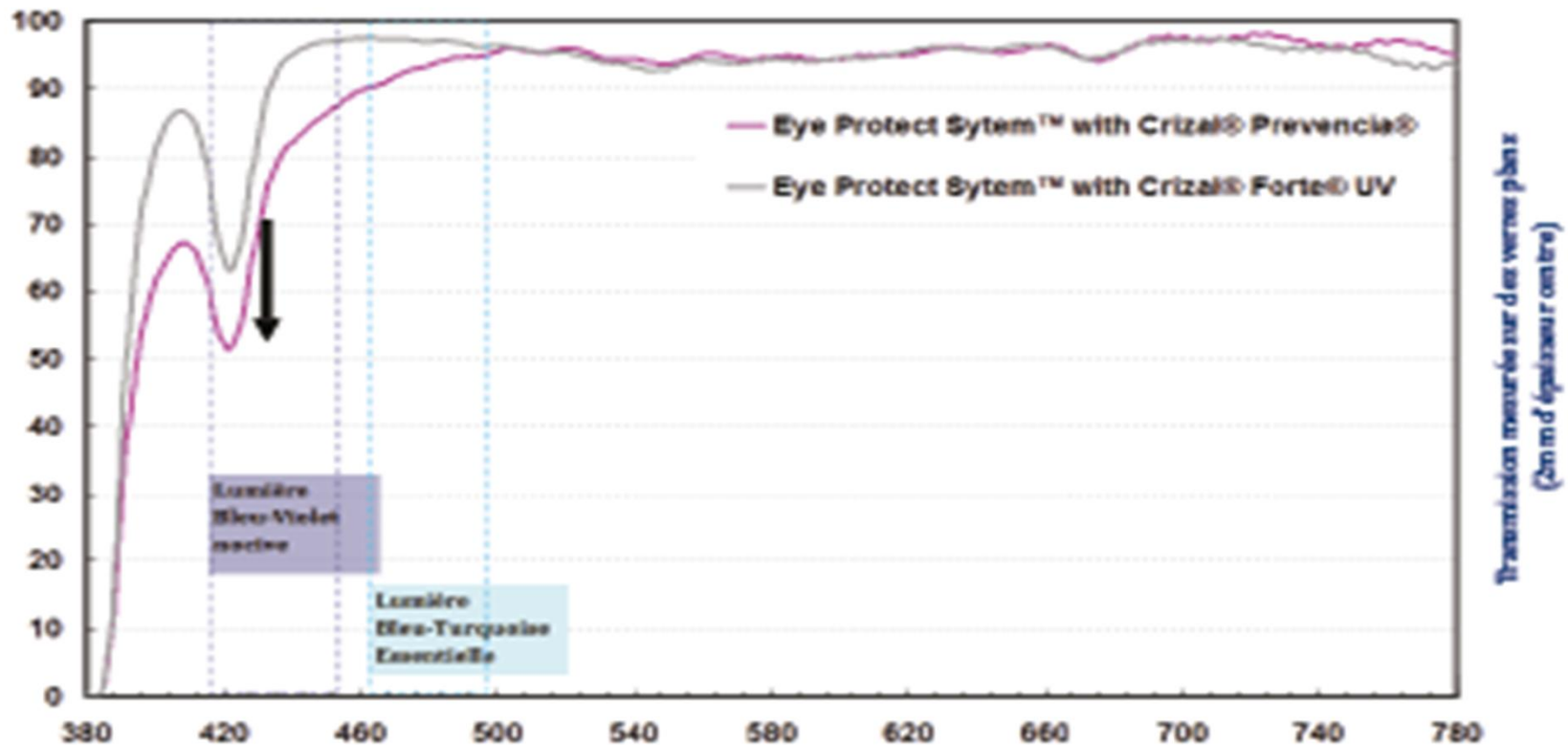
- Toujours chez l'opticien, jamais sur un marché !
- Toutes les grandes marques (Essilor, Hoya, BBGR, Zeiss) ne proposent que des verres filtrant 100% des UV :
 - Verre organique : avec ajout d'un traitement UV
 - Verre polycarbonate sans adjonction de traitement
 - Verre minéral : avec ajout d'un traitement UV
- Les verres organiques (résine) et polycarbonate nécessitent un traitement de durcissement contre les rayures.

Bien choisir ses lunettes de soleil

- Toujours chez l'opticien, jamais sur un marché ou à un vendeur ambulant !
- 4 niveaux de teintes selon la diminution de la lumière visible :
 - Catégorie 1 ou classe A absorbe 20 à 57 %
 - Catégorie 2 ou classe B absorbe 57 à 82 %
 - Catégorie 3 ou classe C absorbe 82 à 92 %
 - Catégorie 4 ou classe D absorbe 92 à 97 % (interdits pour la conduite automobile)
- Teinte toujours « chaude » (brun ou rouge) qui supprime la lumière bleue.
- Jamais de teinte bleue qui laisse passer la lumière bleue.

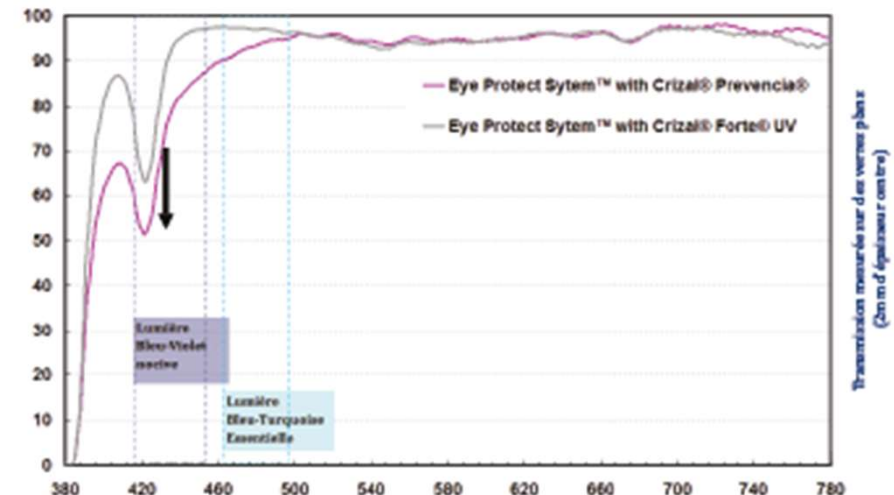
Les lunettes anti lumière bleue

- Ce graphique est publié par le principal vendeur de verres à filtre bleu



Les verres anti lumière bleue

- On voit clairement :
 - Que l'atténuation du bleu toxique est, au mieux, de 40%
 - Que cette atténuation ne porte que sur une partie (420 à 440 nm) du spectre à risque (415 à 455 nm) soit moins de 20% au final
- Une étude scientifique n'a démontré aucun avantage au port de ces verres.



Que faire d'autre ?

- Augmenter la distance d'observation
 - Assez facile à concevoir pour un téléviseur si la pièce est grande.
 - Possible pour un ordinateur de bureau (grand écran conseillé).
 - Impossible pour tablettes, smartphones et casques VR.
- Diminuer la durée d'exposition
 - Idéalement pas plus de 3 heures d'exposition par jour.
 - Irréalisable pour les travailleurs sur écran.
 - Idéaliste pour des adolescents.

Et encore

- Faire des poses :
 - Fermer les yeux 5 minutes toutes les heures.
 - Peu d'effet sur la toxicité rétinienne de la lumière bleue mais répare le film lacrymal.
- Ne pas additionner exposition professionnelle et exposition domestique :
 - Pas d'ordinateur ou tablette ou smartphone à la maison si travail sur ordinateur toute la journée.
 - Téléviseur domestique LCD ou plasma.
 - Pas d'écran à la maison si écrans à l'école

Et surtout, attention aux enfants

- Leurs yeux sont plus exposés :
 - Leur cornée filtre moins la lumière bleue
 - Leur cristallin ne filtre pas la lumière bleue
- Leur addiction à l'écran est supérieure à celle de l'adulte et commence très tôt (dès quelques mois !).
- Les écrans apparaissent en classe et s'ajoutent à l'exposition domestique.
- La durée totale de l'exposition au risque au cours de leur vie sera supérieure à 60 ans soit plus que ce qu'ont subi les générations précédentes.
- -> Interdiction totale d'écran après 21h et pas de casque VR !
- Les études montrent que la suppression de l'utilisation de ces écrans avant le coucher chez l'enfant et l'adolescent permet une augmentation de la durée de sommeil d'une heure trente en moyenne.

Conclusion

- Les dangers de la lumière bleue ne sont pas un mythe !
- Cette lumière bleue a toujours existé dans la vie des humains (soleil) et ils ont pu survivre ! La nouveauté est qu'on y est aussi exposés à l'intérieur (éclairage domestique, écrans). Le travail sur écran ne peut être supprimé. Il faut l'adapter au mieux :
 - Grands écrans.
 - Luminosité de l'écran réglée assez bas.
 - Éviter les fonds blancs.
 - Lunettes filtrantes même si elles sont peu efficaces.
- Les troubles ressentis ne sont pas liés seulement à la lumière mais aussi à l'environnement (air sec, climatisation).
- Activité sur écran à déconseiller :
 - Formellement aux enfants en dessous de 6 ans.
 - Entre 6 et 12 ans pour un usage > 1 heure par jour.
 - Chez l'adulte pour un usage domestique > 2 heures par jour.
- Les risques à long terme ne sont pas encore totalement connus mais seront redoutables pour les enfants d'aujourd'hui.

Merci de votre attention
La foire aux questions commence !