



**Dr Jean-Pierre CESARINI, photobiologiste, INSERM
SFRP, Section Radiations non-ionisantes**

**Expert « Agents physiques » auprès de l'ANSES, Maisons Alfort
Association Sécurité Solaire (*centre coopérateur OMS*)**

**ÉVALUATION DES RISQUES LIES AUX
ÉCLAIRAGES DE BASSE ÉNERGIE (LEDs et
CFLs)**

Journée SFRP – Section RNI

Lundi 24 janvier 2011

Paris

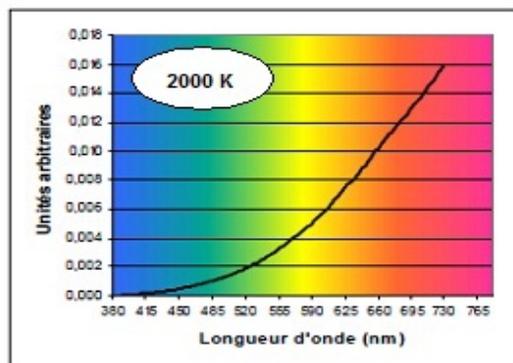
SOURCES ARTIFICIELLES : ÉCLAIRAGE

- Lampes à incandescence, halogènes
- Lampes à décharge: fluorescence
- LEDs

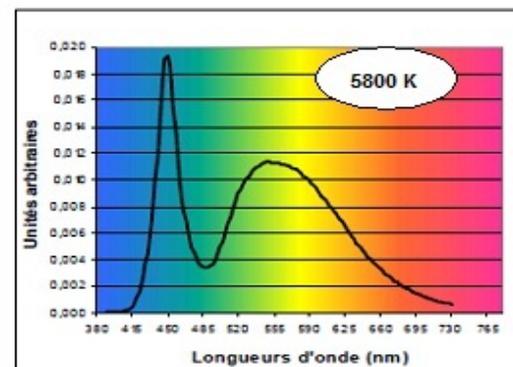
COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES: promotion d'un large usage de sources économisant l'énergie telles que lampes compactes fluorescentes (CFLs) et diodes émettrices de lumière (LEDs) dans le but d'éliminer les lampes à incandescence (2012).

Identification par le SCENIHR de populations « sensibles à la lumière » pour lesquelles il existe un risque potentiel d'aggravation des symptômes par ces sources économisant l'énergie

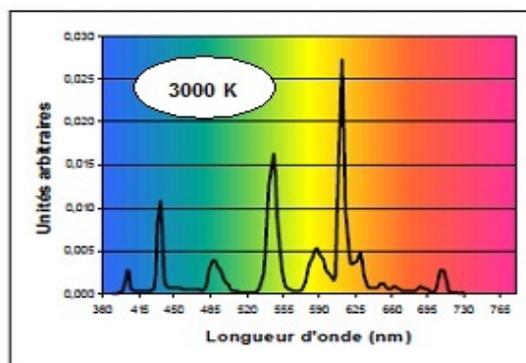
Origine rapport LED AFSSET



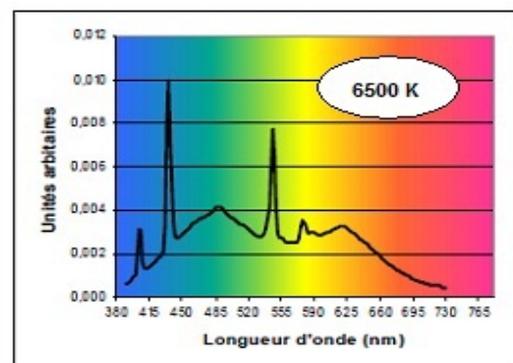
Lampe à incandescence



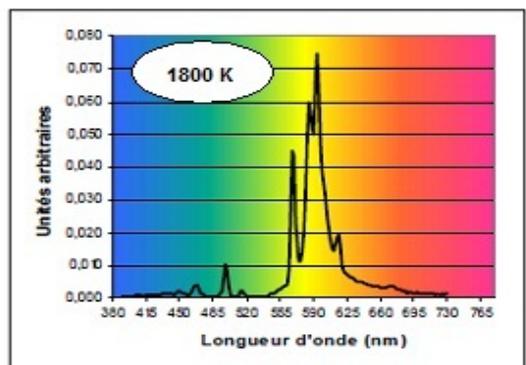
LED blanche (puce bleue + phosphore jaune)



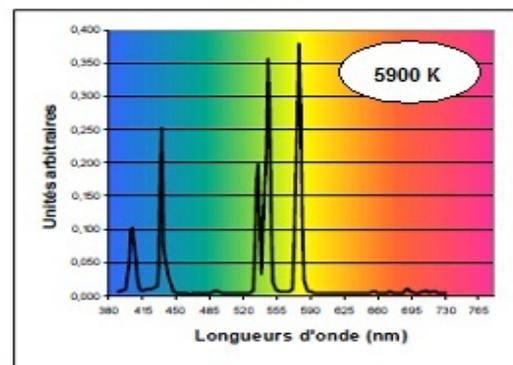
*Tube fluorescent 3000 K (blanc chaud) avec
IRC > 80*



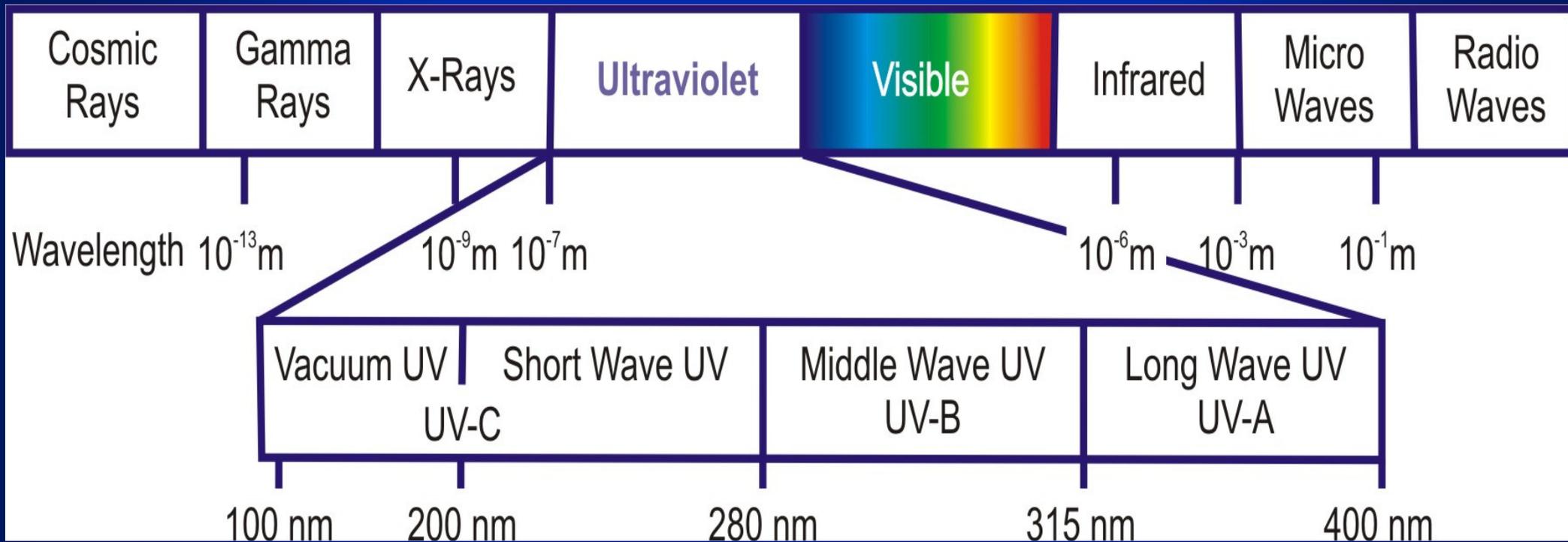
*Tube fluorescent 6500 K (lumière du jour)
avec IRC > 90*



Lampe Sodium haute pression



Lampe à iodures métalliques en silice



LE RAYONNEMENT VISIBLE

★ **VIOLET**

380 nm – 440 nm

★ **BLEU**

440 nm – 495 nm

★ **VERT**

495 nm – 570 nm

★ **JAUNE**

570 nm – 590 nm

★ **ORANGE**

590 nm – 620 nm

★ **ROUGE**

620 nm – 780 nm

LE RAYONNEMENT UV

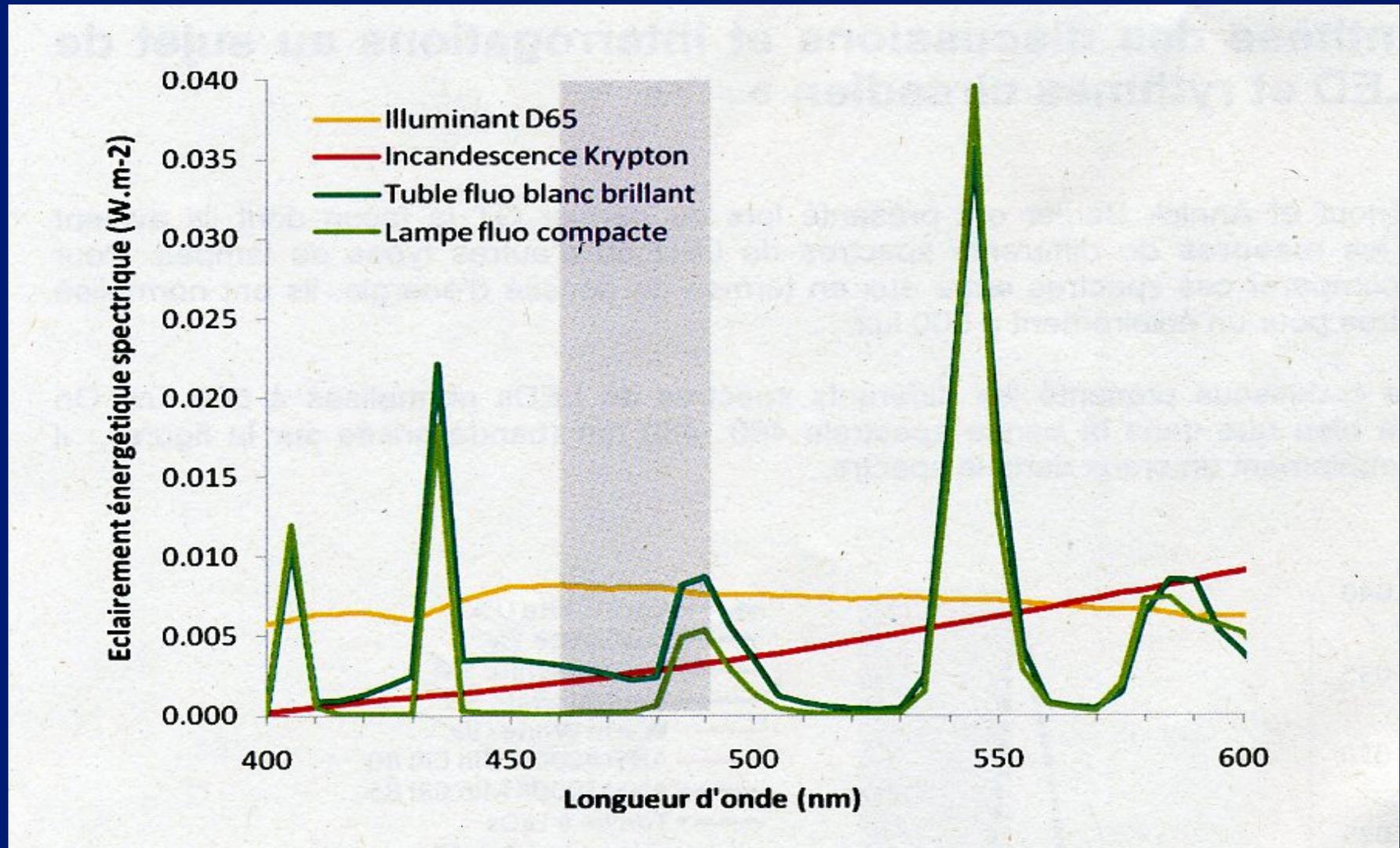
- ❖ Ultraviolet C : 100 nm – 280 nm
- ❖ Ultraviolet B : 280 nm – 320 nm[#]
- ❖ Ultraviolet A : 320 nm – 400 nm

Certains distinguent dans les UVA: UVA2 ou UVA courts (les plus énergétiques), de 320 à 340 nm et les UVA1 ou UVA longs, de 340 à 400 nm.

- Bande de recouvrement UVA-violet : 380 nm – 400 nm

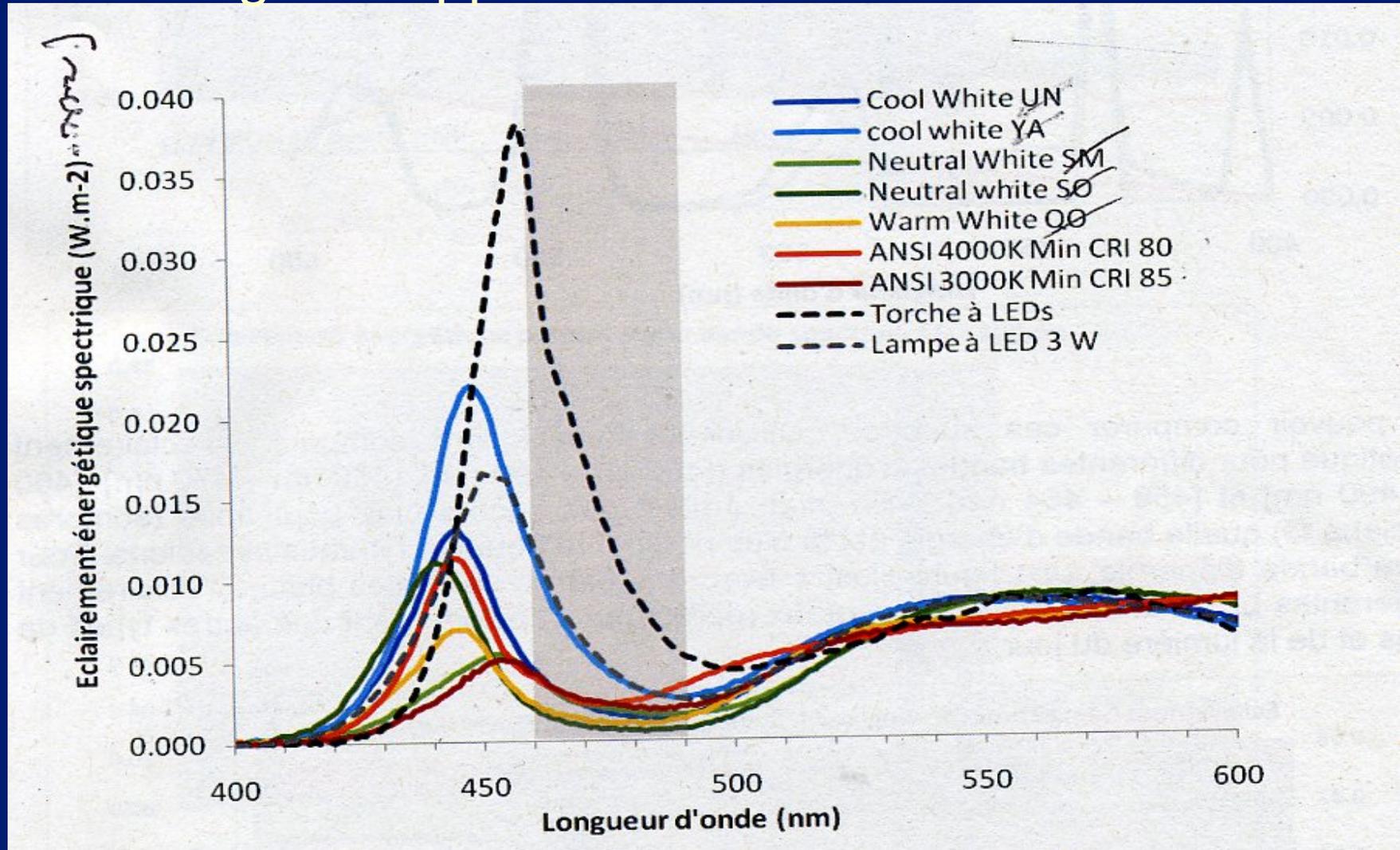
:La limite UVB/UVA, à 320 nm est communément utilisée en pratique (médecine, normalisation), c'est la limite à 315 nm (limite définie par la Commission Internationale de l'Eclairage) qui est prise en compte pour certains calculs.

Origine: rapport LED AFSSET



LES SOURCES COMPACTES FLUORESCENTES (CFLs)

Origine: rapport LED AFSSET



ÉMISSION DE LUMIÈRE PAR LES DIODES (LEDs)

L'ŒIL ET SES FONCTIONS

• VISION

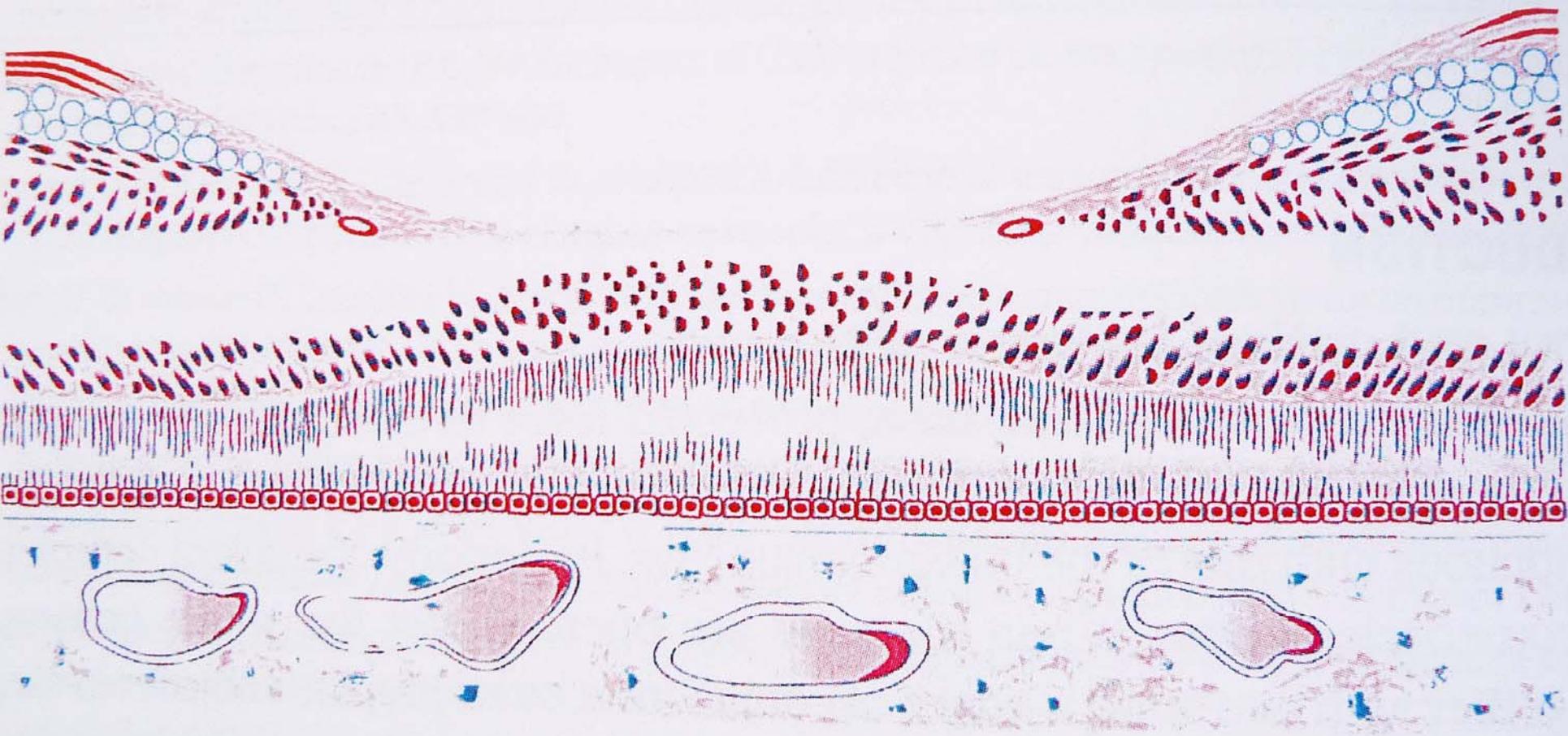
- Stimulation des cônes et des bâtonnets par le bleu, le vert et le rouge. Les cônes bleus sont les plus sensibles à la surexposition à la lumière et les moins capables de réponses aux mécanismes de réparation. Les cônes rouges sont les plus résistants et les plus aptes à la réparation.

• RÉFLEXE PUPILLAIRE

- Il était attribué classiquement à la réponse des cônes à la lumière bleue. Actuellement, ce rôle est dévolu aux cellules ganglionnaires rétiniennes (RGCs). Les RGCs expriment un pigment sensible à la lumière (la mélanopsine)

• RYTHMES CIRCADIENS

- La stimulation des cellules ganglionnaires rétiniennes (RGCs) supprime la sécrétion de mélatonine, chef d'orchestre des cycles circadiens



Neuro-
retina

Rods
and Cones
RPE

Choroid

CELLULES GANGLIONNAIRES RÉTINIENNES ET CYCLES CIRCADIENS

- Travaux de Brainard GC (2001 – 2007), Cooper HM & Gronfier C (2007 – 2009)
 - La mélanopsine est un photo-pigment qui agit sur le réflexe pupillaire à la lumière et sur le cycle circadien.
 - La contraction pupillaire est maximale pour 480 nm
 - La stimulation par 460 nm supprime la mélatonine à 57%.
 - L'exposition à 460 nm entraîne un retard de phase de 1,2 hrs dans la destruction de la mélatonine. A 555 nm, ce décalage n'est pas observé.
 - Le maximum d'absorption de la mélanopsine se situe vers 460 nm et sa régénération est induite vers 600 nm.

RISQUES IDENTIFIES ET RISQUES POTENTIELS

- Risques identifiés
 - Oculaires : cornée, cristallin, rétine
 - Cutanés : pathologies métaboliques, médicaments photosensibilisants
- Risques potentiels
 - Papillotement
 - Émission de champs électromagnétiques
 - Modification des rythmes circadiens
 - Accidentogenèse (réflexe pupillaire)
 - Cancers cutanés, vieillissement du tégument
 - Immuno-modulation

PATHOLOGIES OCULAIRES LIÉES AUX RADIATIONS OPTIQUES

- ❖ **Photo-kérato-conjonctivite** : blessure photochimique de la cornée et de la conjonctive (généralement rayonnement UV).
- ❖ **Cataractes**: conséquence à long terme de lésions répétées du cristallin par le rayonnement UV
- **Blessure (thermique)** de la cornée et du cristallin par le rayonnement infrarouge
- **Blessure rétinienne thermique** résultant de l'exposition à une lumière visible très intense ou à une source de rayonnement infrarouge
- **Photo-rétinite** liée à l'agression photochimique par le rayonnement bleu ou Blue Light Hazard (BLH).
- **Dégénérescence Maculaire Liée à l'Âge (DMLA)** : Conséquence à long terme des forts éclaircissements cumulés ?

BLESSURES RÉTINIENNES = PHOTO-COAGULATION

- Expositions de courte durée
- Irradiance plus élevée que pour les blessures photochimiques
- L'éclairement énergétique entraîne une élévation de plus 10°C.
- Dommages structurels de l'épithélium pigmentaire
- Émission par sources lumineuses très brillantes, par exemple laser

BLESSURES RÉTINIENNES PHOTOCHEMIQUES

- Expositions de longue durée
- Niveaux d'éclairement énergétique relativement faibles
- Élévation thermique inférieure à 1°C
- Dose seuil d'exposition à partir de 22 J.cm⁻² à 446nm
- Indépendante de la taille du spot rétinien
- Altérations de l'épithélium pigmentaire et des pigments des photo-récepteurs
- Dommages photochimiques aux bâtonnets (rhodopsine)
- Chromophores mal connus: mélanines, cytochrome C ou riboflavine... ?

DÉGÉNÉRESCENCE MACULAIRE LIEE A L'ÂGE

- La macula est la partie centrale de la rétine riche en cellules en cônes, responsable de la vision précise et colorée.
- La DMLA est une condition pathologique spécifique de la macula entraînant une perte progressive de l'acuité visuelle.
- La DMLA représente la source majeure de cécité dans les sociétés évoluées (WHO, 1994).
- Condition multifactorielle où le vieillissement et les facteurs génétiques jouent un rôle essentiel, le rôle des facteurs environnementaux est probable

LUMINANCE ÉNERGÉTIQUE DE LA LUMIÈRE BLEUE DE DIFFÉRENTES SOURCES

Sources de lumière	Luminance énergétique (W.cm ⁻²)
Soleil	62,4
Arc de soudure	10,5
Lampe à incandescence (100 W)	0,00102
Lampe à incandescence (57 W)	0,000865
Lampe à fluorescence	0,00036
LED	0,003 – 0,025
Valeur seuil pour une exposition de plus de 10 ⁴ secondes (2 h.46 min.)	0,001

PHYSIOLOGIE DU RAYONNEMENT BLEU

- Stimulation des cellules « cônes » de la rétine. Le pigment des cellules absorbe le rayonnement visible (bleu, vert et rouge) autour de 440 nm, 535 nm et 570 nm.
- Des espèces réactives de l'oxygène y sont produites par les rayonnements UVA et bleu susceptible d'entraîner des dommages cellulaires.
- La stimulation des bâtonnets se fait par la rhodopsine (pic à 500 nm)
- L'énergie véhiculée par le rayonnement est transférée aux mélanines et pigments rétinien.

Lésions photochimiques ou photothermiques

EXPÉRIENCES ANIMALES : EFFET DES FORTES INTENSITÉS SUR LA RÉTINE

- Conclusions d'une étude sur l'irradiation par la lumière bleue (463 nm - $8,8 \times 10^{-3}$ W/sr de l'œil de primates).
 - Les lésions thermiques résultent de l'absorption de l'énergie par les grains de mélanine de l'épithélium rétinien pigmenté.
 - Les lésions photochimiques résultent d'expositions continues à des énergies moins grandes.
 - Perte sélective de sensibilité dans le bleu et le vert, conséquence des expositions intermittentes et répétées à des lumières bleues ou vertes intenses. La perte de sensibilité au bleu dure plus de 3 ans. Concerne uniquement les cônes

ACTION DU RAYONNEMENT UV/VISIBLE SUR LES CONSTITUANTS CELLULAIRES AUTRES QUE L'ADN

- Protéines et acides aminés : oxydation photo-induite de l'histidine, cystéine, tryptophane (UVB). Production de H_2O_2 et $O_2^{\bullet-}$
- Membranes cellulaires: oxydation de lipides non saturés par processus de photosensibilisation de molécules endogènes proches.
- Activation des molécules de stress oxydatif: heat shock proteins. Chromophores inconnus pour la stimulation de NF – κ B, phospholipase A_2 acide arachidonique...

MISE EN ÉVIDENCE DE LA FORMATION DE RADICAUX LIBRES DANS LA PEAU HUMAINE (1)

- Parmi les travaux les plus récents, ceux de deux équipes ont pu nettement mettre en évidence une production radicalaire dans la peau humaine après irradiation par le rayonnement visible. C'est ainsi qu'il a été montré que :

- la lumière visible peut induire des dommages indirects à l'ADN par génération d'espèces réactives de l'oxygène. L'oxydation de la guanine a été obtenue par la radiation 434 nm.
- Un grand nombre de photodermatoses présente un spectre d'action dans le domaine du visible. Leur déclenchement n'est pas prévenu par l'usage de produits antisolaires actuellement commercialisés.

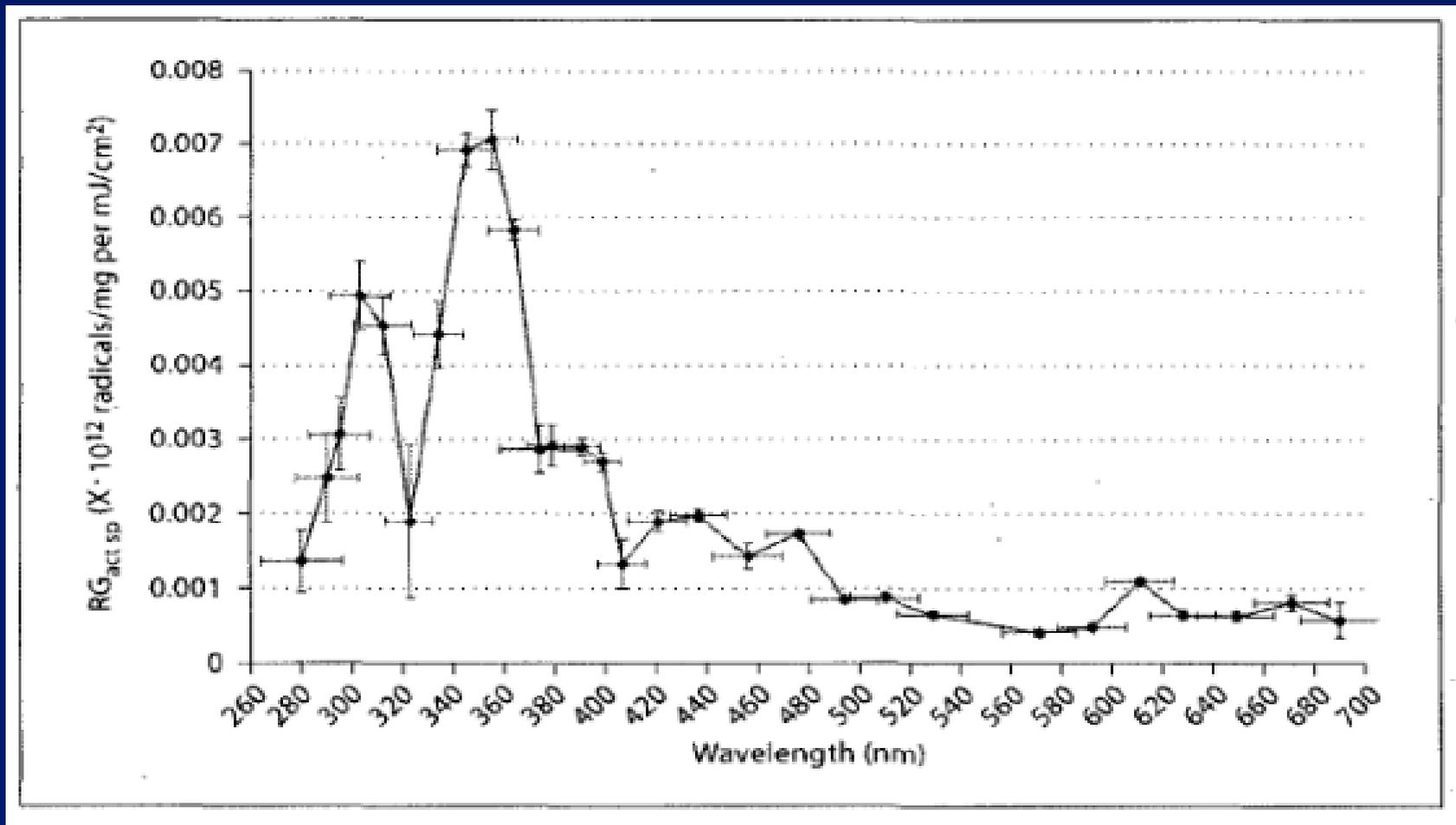
(Bassel H.M., C.L. Hexsel, I.H. Hamzavi, H.W. Lim. Effects of visible light on the skin. Photochem Photobiol 84: 450-462, 2008.)

(European Commission 2008. SCENIHR report. Light sensitivity.)

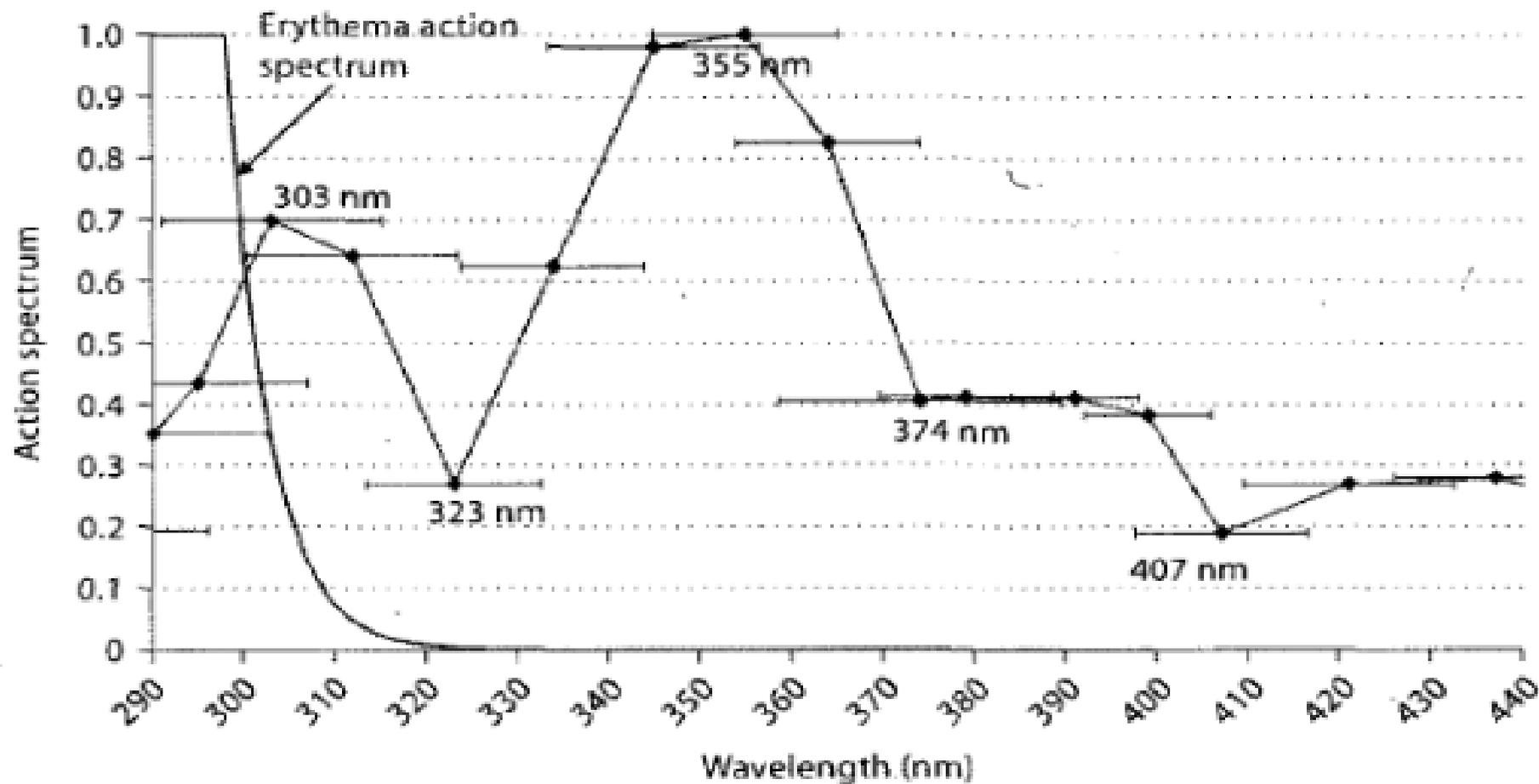
MISE EN ÉVIDENCE DE LA FORMATION DE RADICAUX LIBRES DANS LA PEAU HUMAINE (2)

- La production radicalaire a été objectivée en spectroscopie (bande ESR-X) utilisée pour détecter et quantifier directement les radicaux produits en excès sur un modèle de peau ex vivo.
- Le signal ESR détecte l'accumulation des espèces activées de l'oxygène (radicaux hydroxyl et anion superoxyde) après irradiation par un simulateur solaire équipé de filtres cut-off.

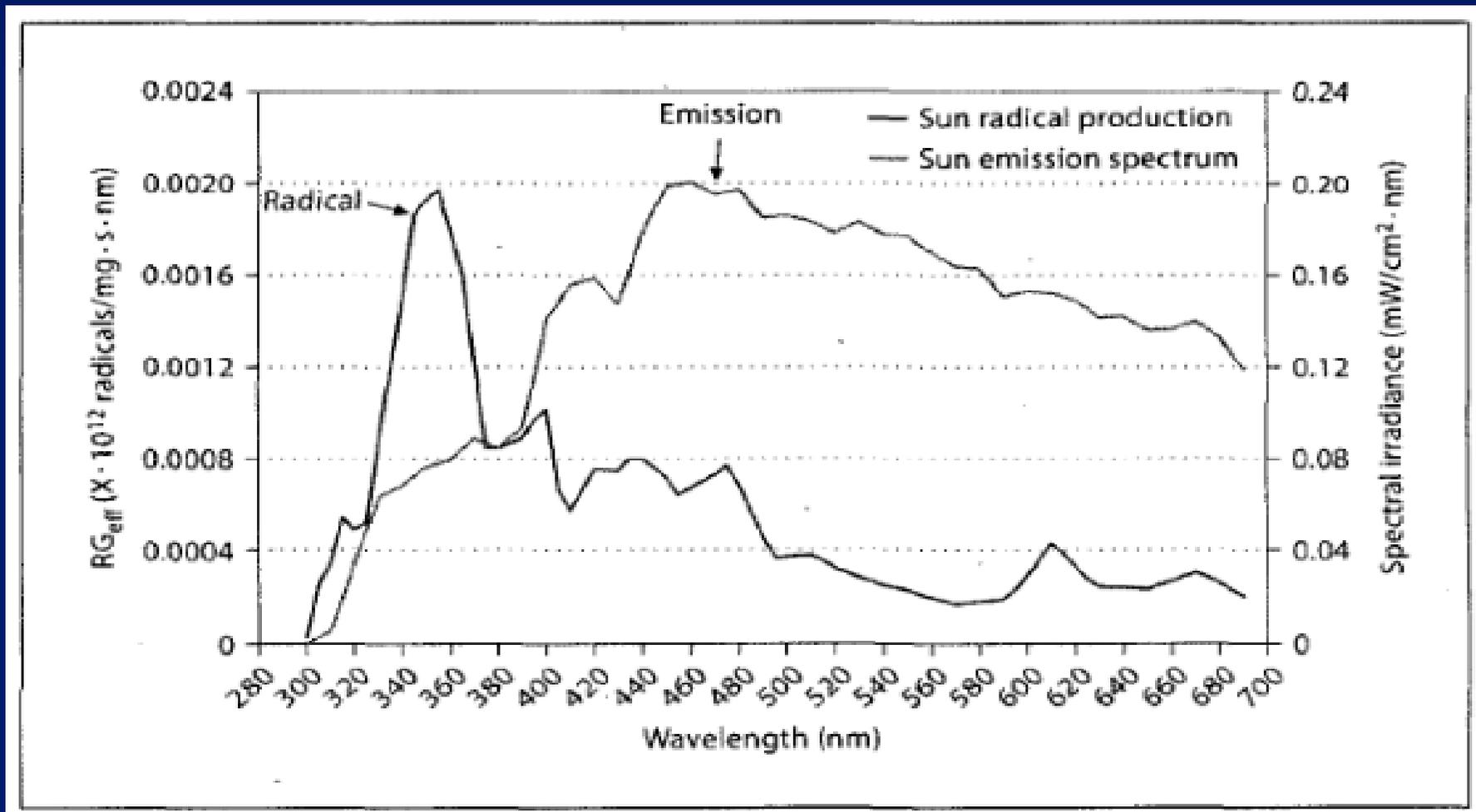
(Zastrow L., N. Groth, F. Klein, D. Lockott, J Iadermann, R; Renneberg, L. Ferrero. The Missing Link – Light-induced (280-1,600 nm) free radical formation in human skin. Skin Pharmacol Physiol 22 : 31-44, 2009).



Spectre d'action de la production radicalaire par mg de peau et par mJ/cm² et par nm. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la mesure.



Spectre d'action radicalaire dans la région UV normalisée à 355 nm comparé au spectre d'efficacité érythémale normalisée à 299 nm



Spectre d'efficacité radicalaire de la peau humaine irradiée.
 L'efficacité radicalaire spectrique est calculée par convolution du spectre radicalaire avec le spectre de référence solaire CIE 85 (axe secondaire à droite).

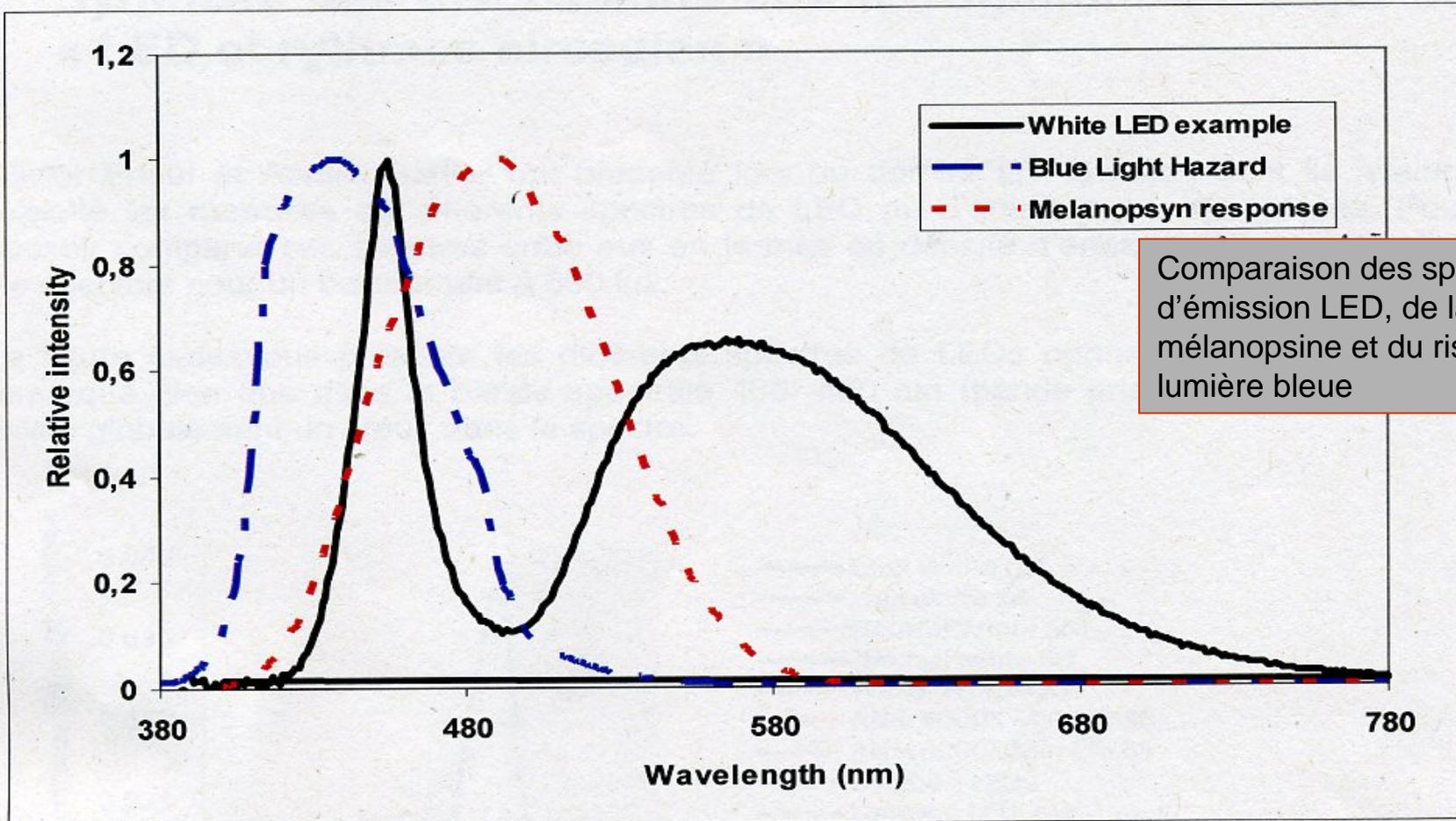
CONCLUSIONS (1)

- Les progrès de la connaissance de la pénétration du rayonnement visible dans la peau, les études concernant le spectre d'absorption de chromophores endogènes et exogènes dans la peau ont conclu à l'existence d'effets biologiques variés exercés par la portion visible du spectre des rayonnements non ionisants.
- Outre la possibilité d'induire un érythème ou une pigmentation, des dommages thermiques, la production d'espèces radicalaires de l'oxygène s'avère une réalité dans le domaine du visible.
- A travers la génération de ces ROS, la lumière visible peut induire des dommages indirects à l'ADN, contribuant ainsi à une possible photo-carcinogénicité par addition aux effets des expositions solaires.
- Les mêmes processus contribuent aux vieillissements cutanés d'origine intrinsèque et extrinsèque

CONCLUSIONS (2)

- En outre cette production radicalaire peut être responsable des effets cliniques observés dans le cadre de photodermatoses photosensibles et de la photo-activation de substances naturellement présentes ou importées par voie systémique (antibiotiques, aliments) ou par voie topique (PDT, ALA...).
- Pour les individus présentant une hypersensibilité au rayonnement UV/bleu, le risque existe d'aggraver ou de déclencher des pathologies cutanées.
- **Pour en savoir plus, il conviendrait de procéder à des tests cutanés de déclenchement sur des sujets sains mais également sur des sujets déjà photosensibilisés comme cela est de pratique courante en explorations photobiologiques.**

Origine: rapport LED AFSSET



LEDs & SYSTÈME DE PHOTO-RÉCEPTION SECONDAIRES

- Le spectre lumineux des LEDs montre un pic majeur dans le bleu vers 455 nm, une dépression importante vers 490 nm puis un large pic vers 500-700 nm.
- La dépression dans le spectre des LEDs correspond au maximum du spectre d'activation de la mélanopsine
 - Contraction pupillaire réduite et très forte intensité de la LED \Rightarrow éblouissement augmenté et risque de lésions photochimiques.
 - L'exposition continue à une forte intensité LED pourrait décaler les rythmes circadiens (veille, sommeil) ainsi que l'humeur (dépression par défaut d'activation du système).

CONCLUSIONS DU SCENIHR (2008)

- ❖ « Le SCENIHR a examiné les CFLs pour 3 caractéristiques essentielles : **le clignotement, les champs électromagnétiques et l'émission de lumière UV et bleue** sont susceptibles de déclencher certains symptômes liés à des pathologies ».
- ❖ « De toutes les caractéristiques des CFLs, seul **le rayonnement UV/lumière bleue** est identifié comme un facteur de risque potentiel aggravant les symptômes de sensibilité à la lumière chez certains patients souffrant de dermatite actinique chronique et d'urticaire solaire ».
- ❖ « Le Comité préconise l'utilisation d'une **double enveloppe** pour les CFLs et technologies similaire afin de **réduire ou supprimer** entièrement
 - les risques pour les travailleurs postés
 - le risque d'aggravation des symptômes chez les sujets sensibles à la lumière ».

CONCLUSIONS & RECOMMANDATIONS (AFSSET 2010) - 1

- Caractéristiques des LEDs : déséquilibre spectral dans le bleu, forte luminance
- Les mesures ont montré que selon leur puissance, certaines LEDs peuvent être classées en groupe de risque 2
 - Marquage du groupe de risque auquel appartient la source (0, 1, 2, 3). Si marquage # 0, installation par professionnels de l'éclairage
- Risques d'éblouissement, de perturbation de la contraction pupillaire, de perturbation de l'horloge biologique
 - Développement d'une norme de mesures spécifiques (modifications du standard NF EN 62471)

CONCLUSIONS & RECOMMANDATIONS (AFSSET 2010) - 2

- **Les risques de lésions oculaires liés à la lumière bleue sont bien réels.** Les lésions immédiates/chroniques peuvent être évitées grâce aux mesures appropriées : port de lunettes adaptées aux conditions de travail, aux expositions à la lumière solaire.

Il est important d'exercer un contrôle strict de l'émission des éclairages artificiels, accompagné de recommandations:

- Éviter de regarder fixement les sources lumineuses
- Mettre en place les dispositifs d'éclairage indirect ou filtrer les sources halogènes
- Maintenir à distance raisonnable les sources CFL ou LED
- Être vigilant vis à vis des sources de multiples LED disposées en panneaux
- Être vigilant vis à vis de sources bénéficiant de publicités assurant des bénéfices pour la santé telles que « faire entrer le soleil », « faire le plein d'énergie », « la vie au naturel »...
- Enfants < 7 ans : déconseille l'usage des LEDs dans l'éclairage des pièces à vivre, dans les jouets, consoles, etc..

SOURCES DE RADIATIONS OPTIQUES SUSCEPTIBLES D'INDUIRE LE RISQUE LIE AUX RADIATIONS BLEUES (BLH)

Sources	Lampe (W)	Rayonnement (W)	Luminance énergétique (W.m ⁻² sr ⁻¹)	Champ de λ (nm)	% de lumière bleue
Rayonnement solaire	—	1 kW.m ⁻²	$2,2 \times 10^7$	200 – 2 500	5 – 10
Lampe à incandescence	10 – 2 000	9 – 1 800	1×10^2	300 – 2 500	0,5 – 2
Tungstène halogène	500 – 10 000	450 – 9 000	1×10^4	270 – 2 500	1 – 4
Arc xénon	500 – 20 000	250 – 10 000	$10^6 \times 10^8$	250 – 3 500	6 – 10
Hg haute Pression	40 – 2 000	25 – 1 200	$10^3 \times 10^5$	300 – 1 000	8 – 20
Lampes à métalloïdes	100 – 2 000	80 – 1 500	$10^3 \times 10^5$	300 – 1 000	8 – 22
Arc de soudure	—	—	$10^8 \times 10^{10}$	200 – 1 000	5 – 40
Référence laser	—	1 – 10 mW	$10^9 \times 10^{14}$	300 – 10 000	—

PROTECTION OCULAIRE CONVENTIONNELLE

- **Lunettes antisolaires**: marquage CE obligatoire, quatre niveaux de protection
 - Niveaux 2 et 3 : bonne protection
 - Niveau 4 : conditions extrêmes, impropre à la conduite
- **Protections oculaires dans l'industrie** : spécificité adaptée à la nature du travail. Normes ISO
 - Type lunettes de vue
 - Type goggle
 - Casque ou protection tenue à la main
- **Protection vis à vis des lasers** : spécification technique originale (longueur d'onde, densité optique, définies par des standards de sécurité des lasers. Normes ISO

