



**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*)**

# **LES RISQUES POUR LA SANTÉ DES NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'ÉCLAIRAGE ET LEUR RÉGLEMENTATION**

Tutoriale T2

SFRP 2011, Congrès National de Radioprotection, 21 - 23 juin 2011

- Directive EuP 2005/32 (C.E., 2005): relative à l'écoconception des produits consommateurs d'énergie.
  - Recommande l'amélioration des performances énergétiques et environnementales des produits de consommation courante tels que les sources d'éclairage.
  - Le règlement 244/2009 relatif à l'écoconception des lampes à usage domestique non dirigé fixe un calendrier pour le retrait progressif des lampes les plus énergivores.
- *La consommation annuelle d'électricité de ces lampes a été estimée en 2007 à 112 TWh, soit 45 Mt d'émission de CO<sub>2</sub>. L'économie espérée est de 39 TWh, soit 15,7 MT d'émission de CO<sub>2</sub> en absence de mesure spécifique*
- Six étapes du 1/9/2009 au 1/9/2016: disparition des lampes à incandescence de la vente dans tout pays membre de l'UE.
- En France, le Grenelle de l'environnement a débouché sur une convention plus volontariste du 30/6/2009 au 31/12/2012 :
  - les ampoules domestiques de classe E, F, G d'une puissance supérieure ou égale à 25 W doivent avoir été retirées du commerce.
  - Une circulaire du 3/12/2008 (fiche N° 16) précise les produits et dispositifs d'éclairage préconisés à l'achat et ceux qui en sont proscrits.
  - Cette circulaire s'applique aux achats publics et interdit notamment les luminaires avec flux lumineux purement indirect

## Remplacement des sources à filament tungstène

Les sources d'éclairage doivent respecter la Directive 2006/25/CE concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs (EU, 2006) et les recommandations de l'ICNIRP pour le public (ICNIRP, 1997, 1998, 1999, 2000).

- Lampes halogènes (LHs)
- Lampes compactes fluorescentes (CFLs)
- Diodes électroluminescentes (LEDs)

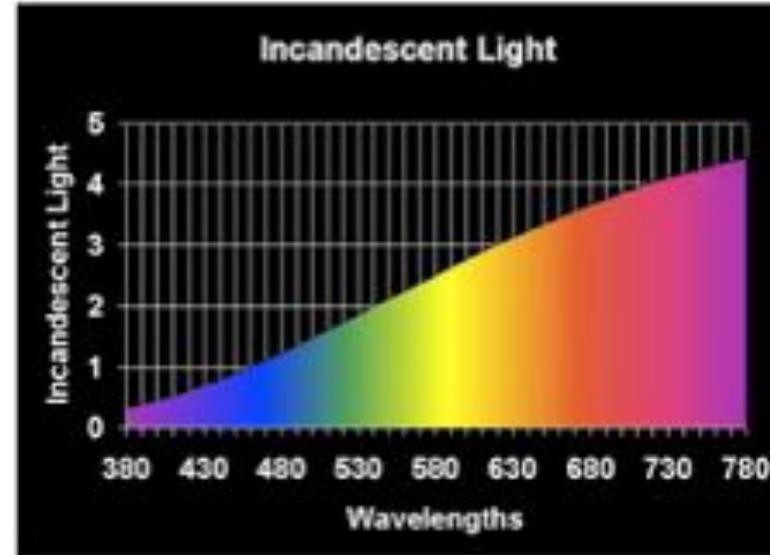
Type de source	Production de lumière		Durée de vie
	lumen/watt	Gain énergétique	
Incandescence	10 – 15		1 – 2 ans
Halogène*	15 – 30	30 – 50 %	2 – 4 ans
Fluo-compacte	50 – 100	80 %	6 – 12 ans
LED (actuelle)	100 – 150	90 %	40 ans et +
LED (future, 2020)	200		

\* certaines LHs (classe B) doivent également être retirées de la vente en 2016.

# Principe de fonctionnement d'une lampe à incandescence et son spectre

Un courant électrique traverse un filament métallique et le chauffe par effet Joule...

La quantité de la lumière dépend de la Température du filament; le spectre est continu



# Principes de fonctionnement des lampes: sources halogènes

La décharge électrique produit l'ionisation du gaz dans une enveloppe en quartz. N'absorbe pas la portion UV de la source.



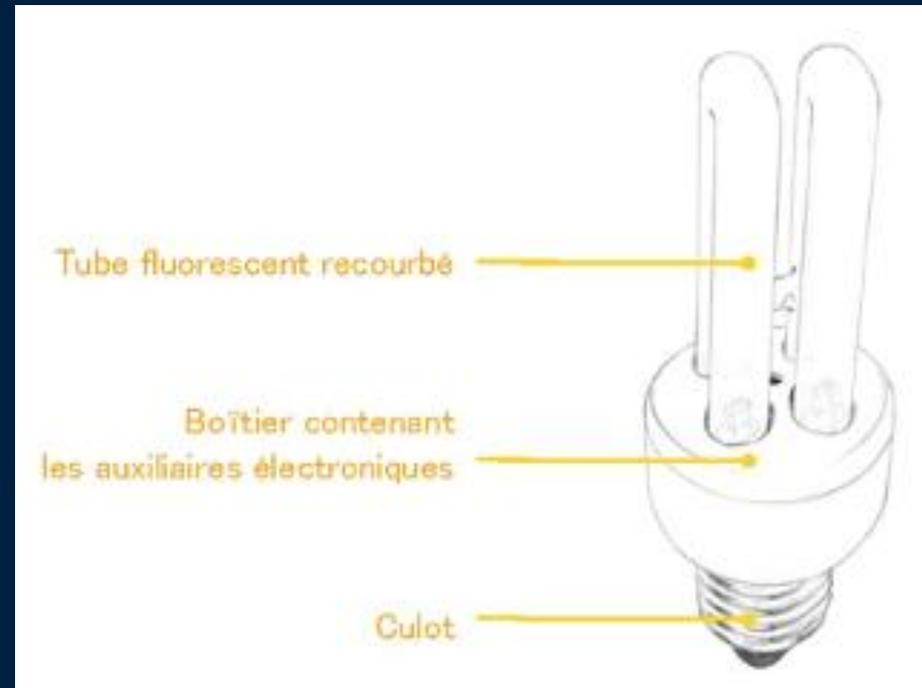
Lampes halogènes haute efficacité avec et sans ballast électronique intégré

Rapport ANSES (2010)

# Principes de fonctionnement des lampes: sources fluo-compactes

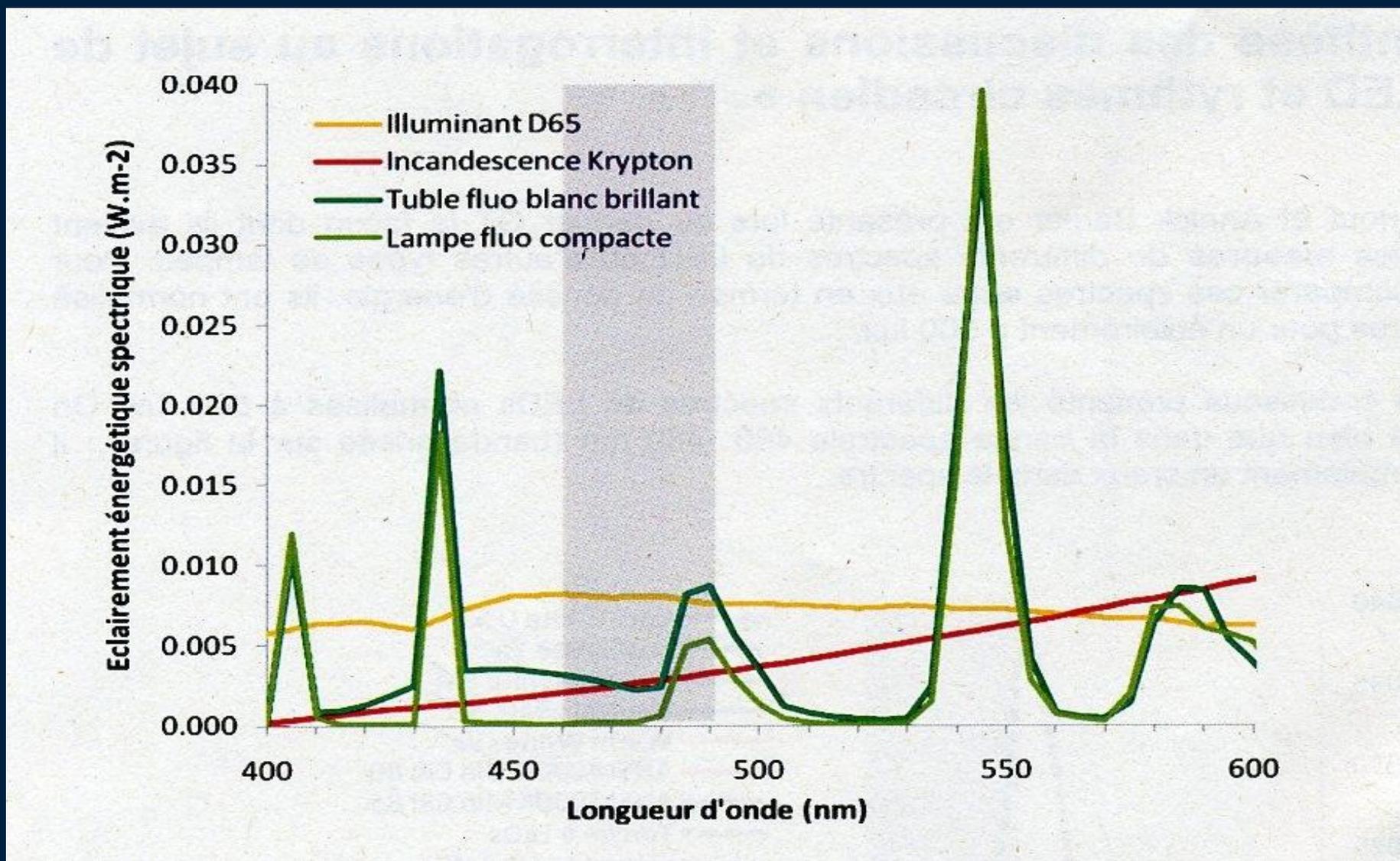
Ionisation d'un gaz et sels de mercure contenu dans le tube sous faible pression. Les poudres déposées à l'intérieur du tube de verre absorbent les rayonnements UV C, B, A et restituent une fluorescence dans le visible.

- lumière froide ( $> 4700 \text{ °K}$ ) : rayonnement bleu sur-exprimé
- Lumière chaude ( $< 3400 \text{ °K}$ ): rayonnement bleu sous-exprimé

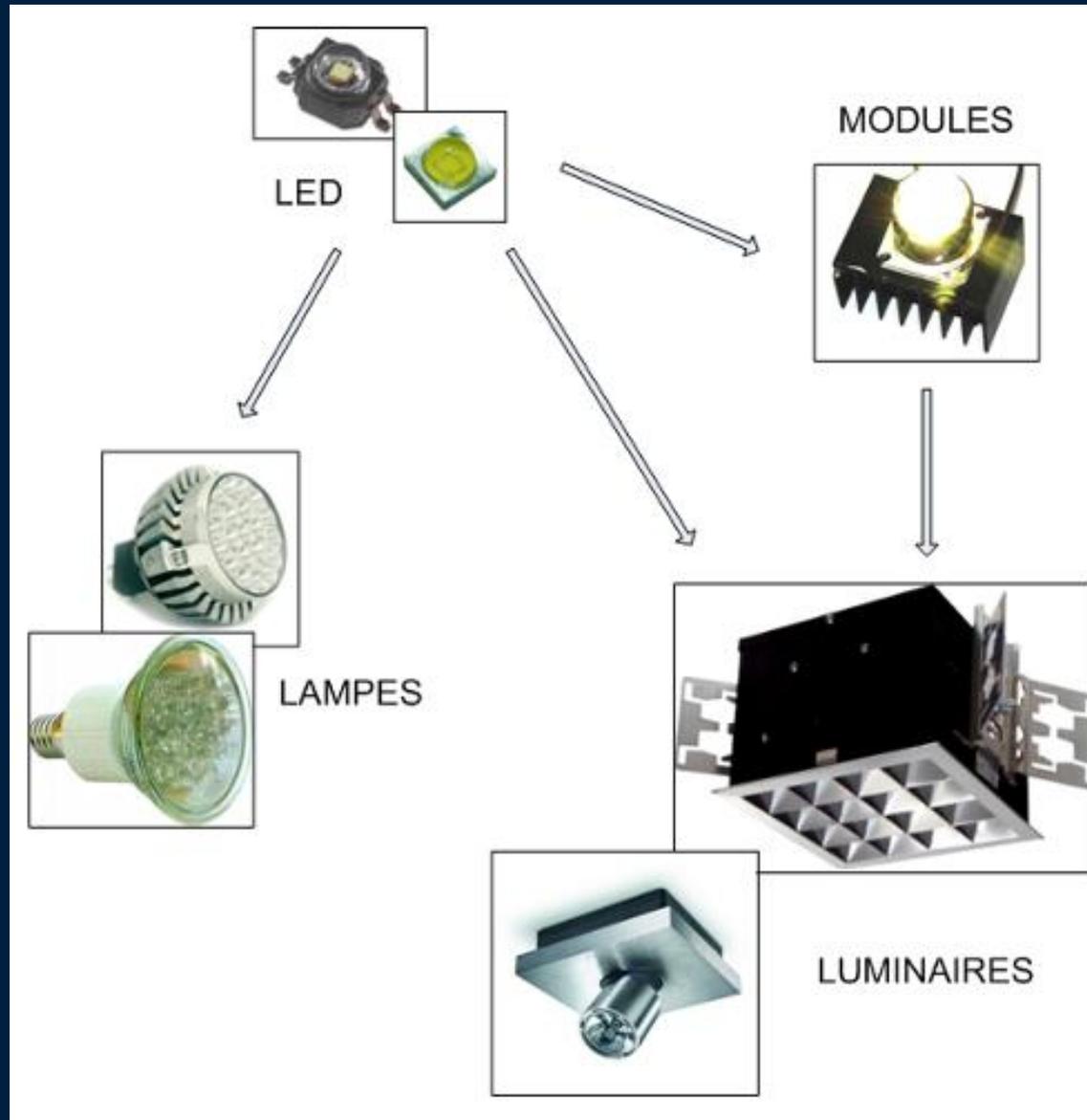


Lampe fluocompacte avec son ballast électronique intégré - ANSES (2010)

# LES SOURCES COMPACTES FLUORESCENTES (CFLs)



# Principes de fonctionnement des lampes: diodes (LEDs) (1)



## Principes de fonctionnement des lampes: diodes (LEDs) (2)

Découverte par HJ Round en 1907 (Marconi Co, UK)

« le passage asymétrique du courant (différence de potentiel de 10 volts) au contact de carborundum (cristal de carbure de silicium) provoque une émission de lumière jaune ».

En 1962, redécouverte de la LED rouge puis accélération industrielle: large choix, puissances augmentées.

Une LED est constituée d'un semi-conducteur soumis à une tension de quelques volts, L'émission présente un pic

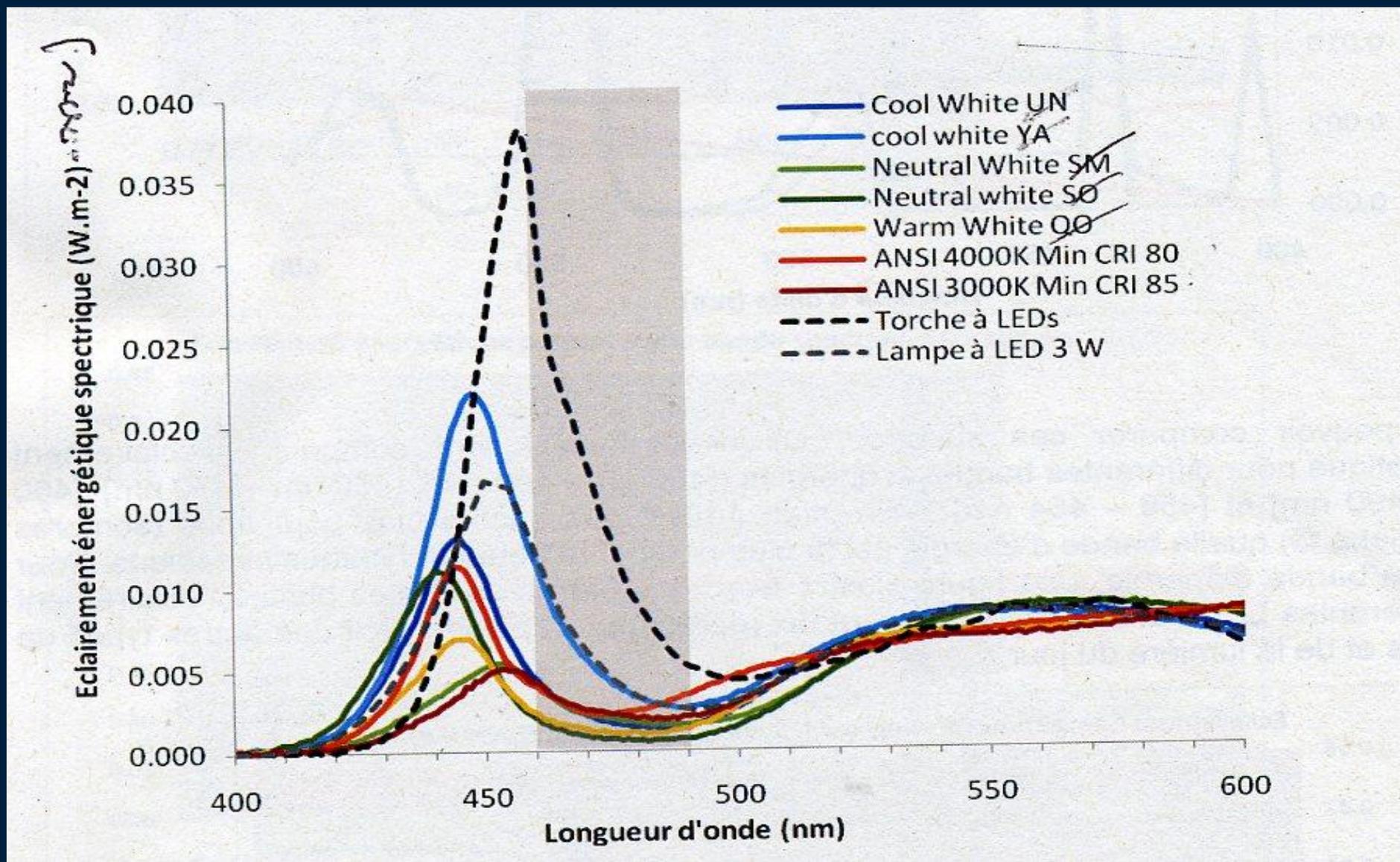
Nitride de gallium, émission bleue, vert

Phosphure de gallium, émission rouge

Association de plusieurs semi-conducteur couvrant le spectre visible.

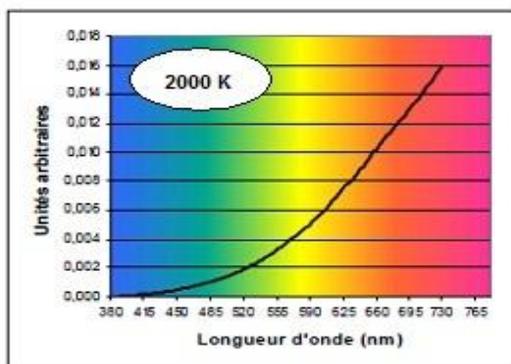
Rendement optimum en privilégiant la portion bleue du spectre.

# ÉMISSION DE LUMIÈRE PAR LES DIODES (LEDs)

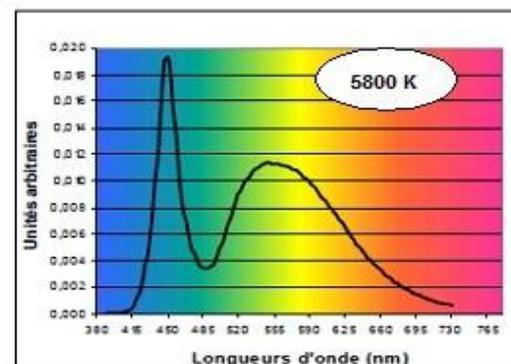


Origine: rapport LED ANSES

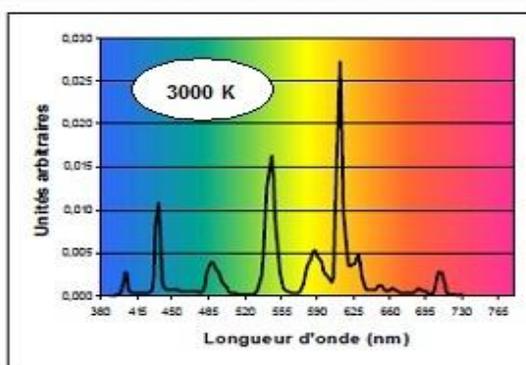
# Origine rapport LED ANSES



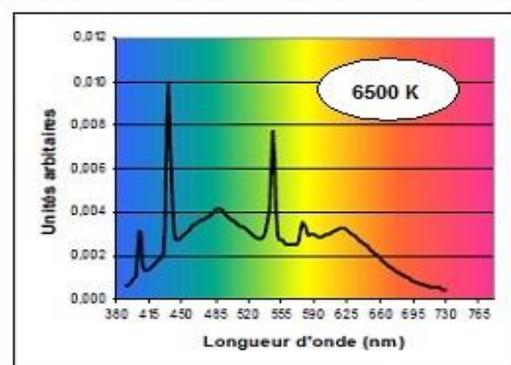
*Lampe à incandescence*



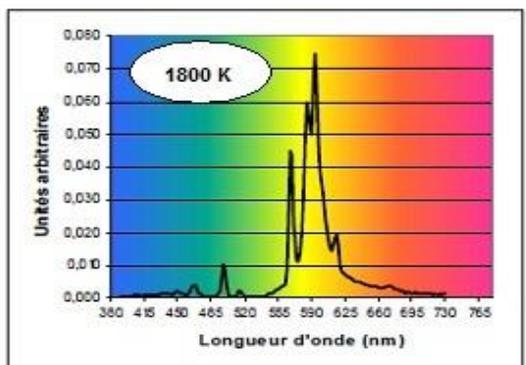
*LED blanche (puce bleue + phosphore jaune)*



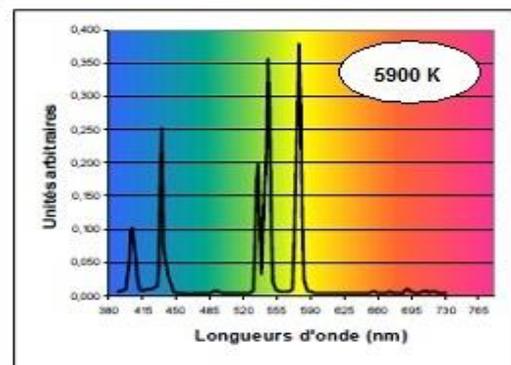
*Tube fluorescent 3000 K (blanc chaud) avec IRC > 80*



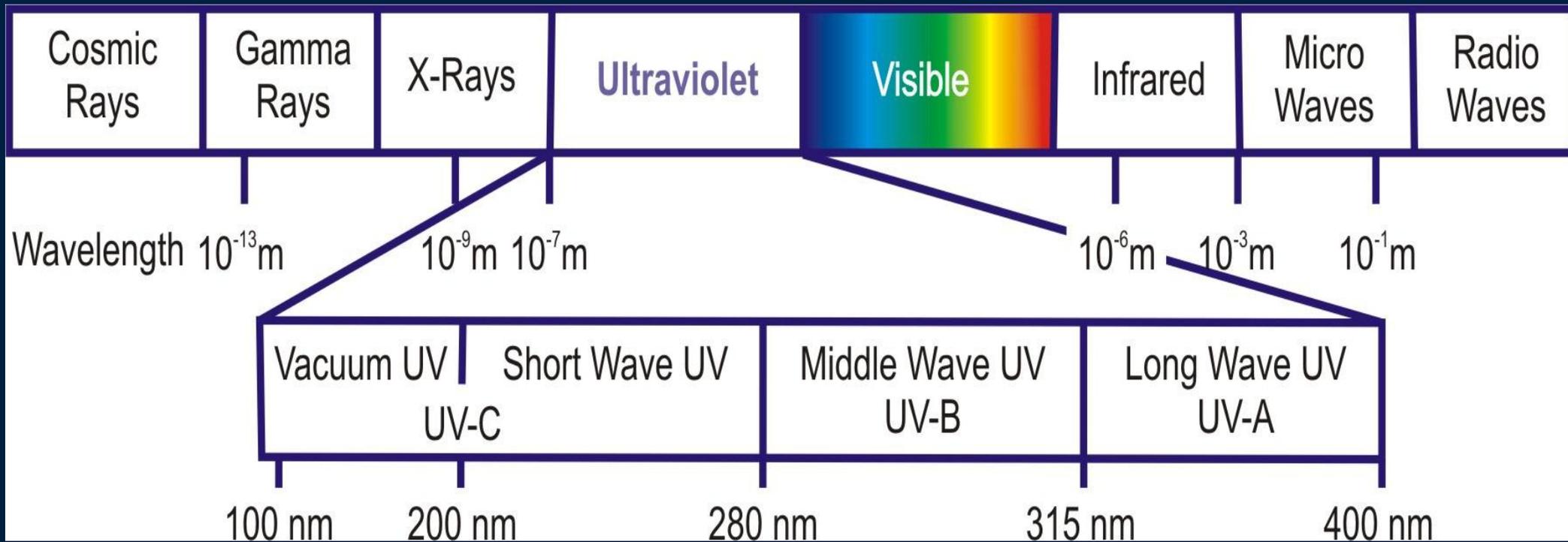
*Tube fluorescent 6500 K (lumière du jour) avec IRC > 90*



*Lampe Sodium haute pression*



*Lampe à iodures métalliques en silice*



# LE RAYONNEMENT UV

❖ Ultraviolet C : 100 nm – 280 nm

❖ Ultraviolet B : 280 nm – 320 nm<sup>#</sup>

❖ 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.

# LE RAYONNEMENT VISIBLE

★ **VIOLET**

**380 nm – 440 nm**

★ **BLEU**

**440 nm – 495 nm**

★ **VERT**

**495 nm – 570 nm**

★ **JAUNE**

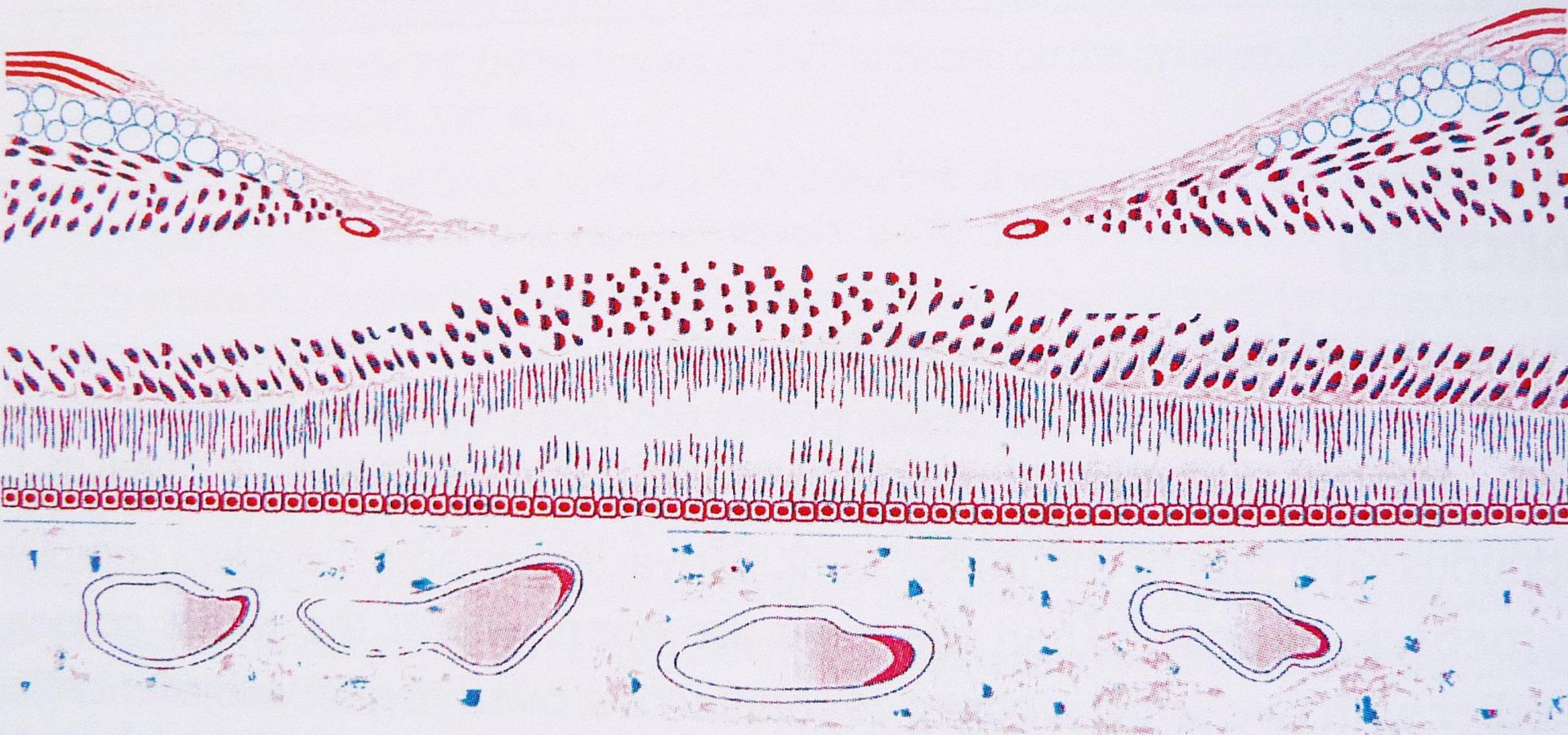
**570 nm – 590 nm**

★ **ORANGE**

**590 nm – 620 nm**

★ **ROUGE**

**620 nm – 780 nm**



Neuro-  
retina

Rods  
and Cones  
RPE

Choroid

# 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.

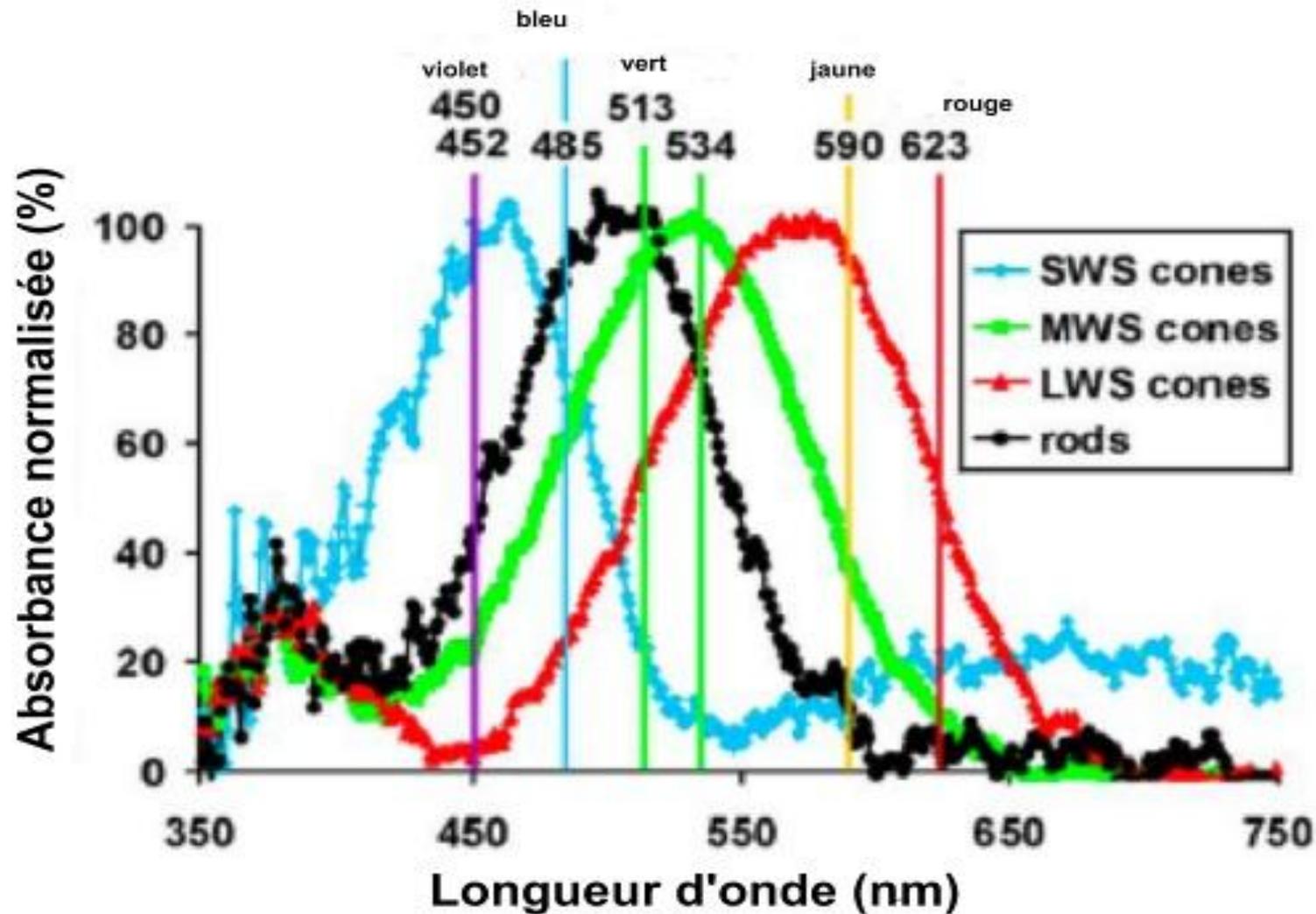
## • RÉFLEXE PUPILLAIRE

- 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

# Origine: rapport LED Afsset



# 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 cutanée

# PATHOLOGIES OCULAIRES LIÉES AUX RADIATIONS OPTIQUES

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

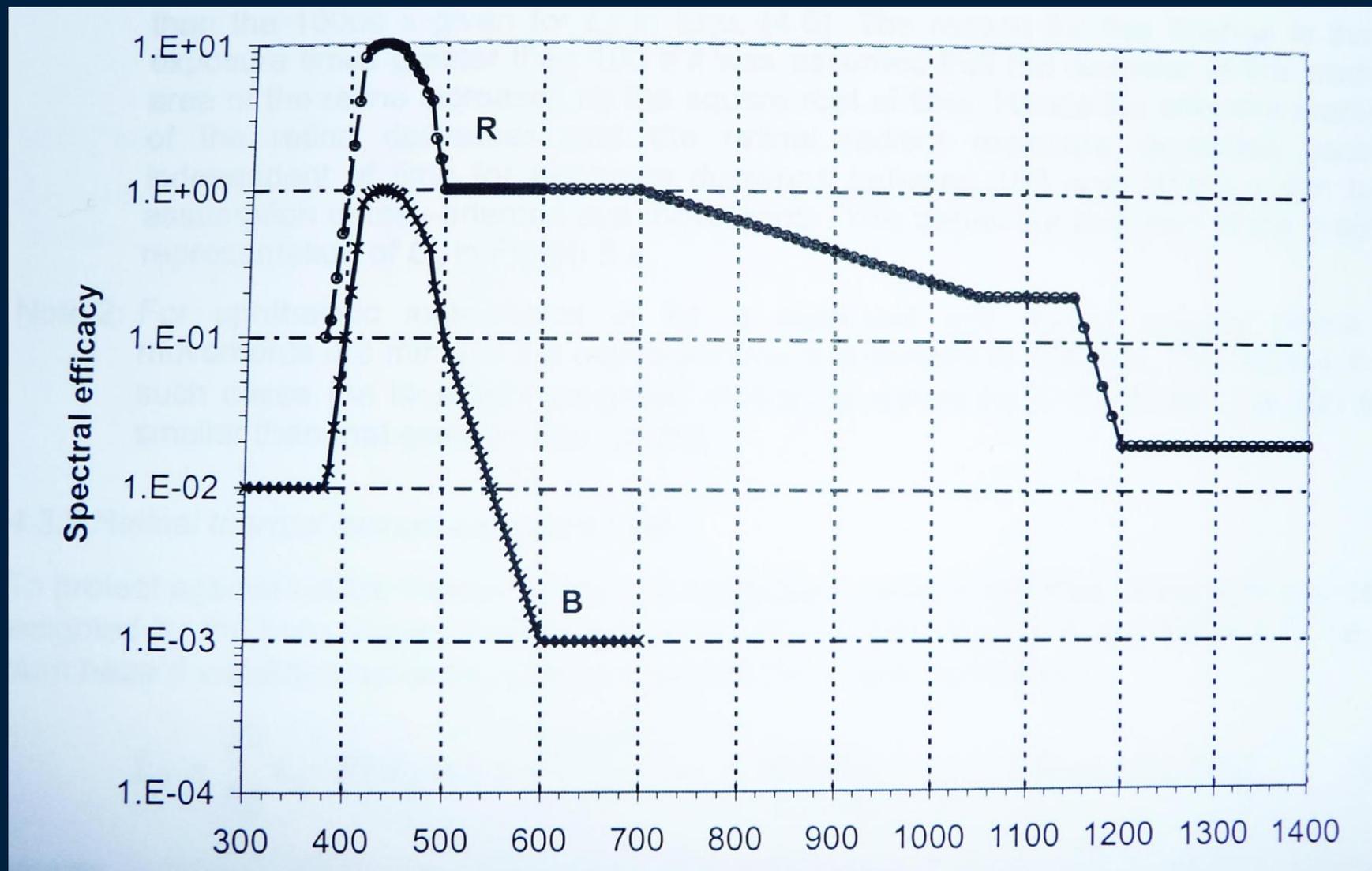
# BLESSURES RÉTINIENNES PAR PHOTO-COAGULATION

- 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<sup>-2</sup> 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... ?

# FONCTIONS SPECTRALES PONDÉRÉE DE LA BRÛLURE RÉTINIENNE ET DU BLH



# 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 <sup>-2</sup> )
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 <sup>4</sup> secondes (2 h.46 min.)	0,001

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

Sources	Lampe (W)	Rayonnement (W)	Luminance énergétique (W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> )	Champ de $\lambda$ (nm)	% de lumière bleue
Rayonnement solaire	—	1 kW.m <sup>-2</sup>	$2,2 \times 10^7$	200 – 2 500	5 – 10
Lampe à incandescence	10 – 2 000	9 – 1 800	$1 \times 10^2$	300 – 2 500	0,5 – 2
Tungstène halogène	500 – 10 000	450 – 9 000	$1 \times 10^4$	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	—

## 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  $O_2^{\cdot-}$
- 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 –  $\kappa$ 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.

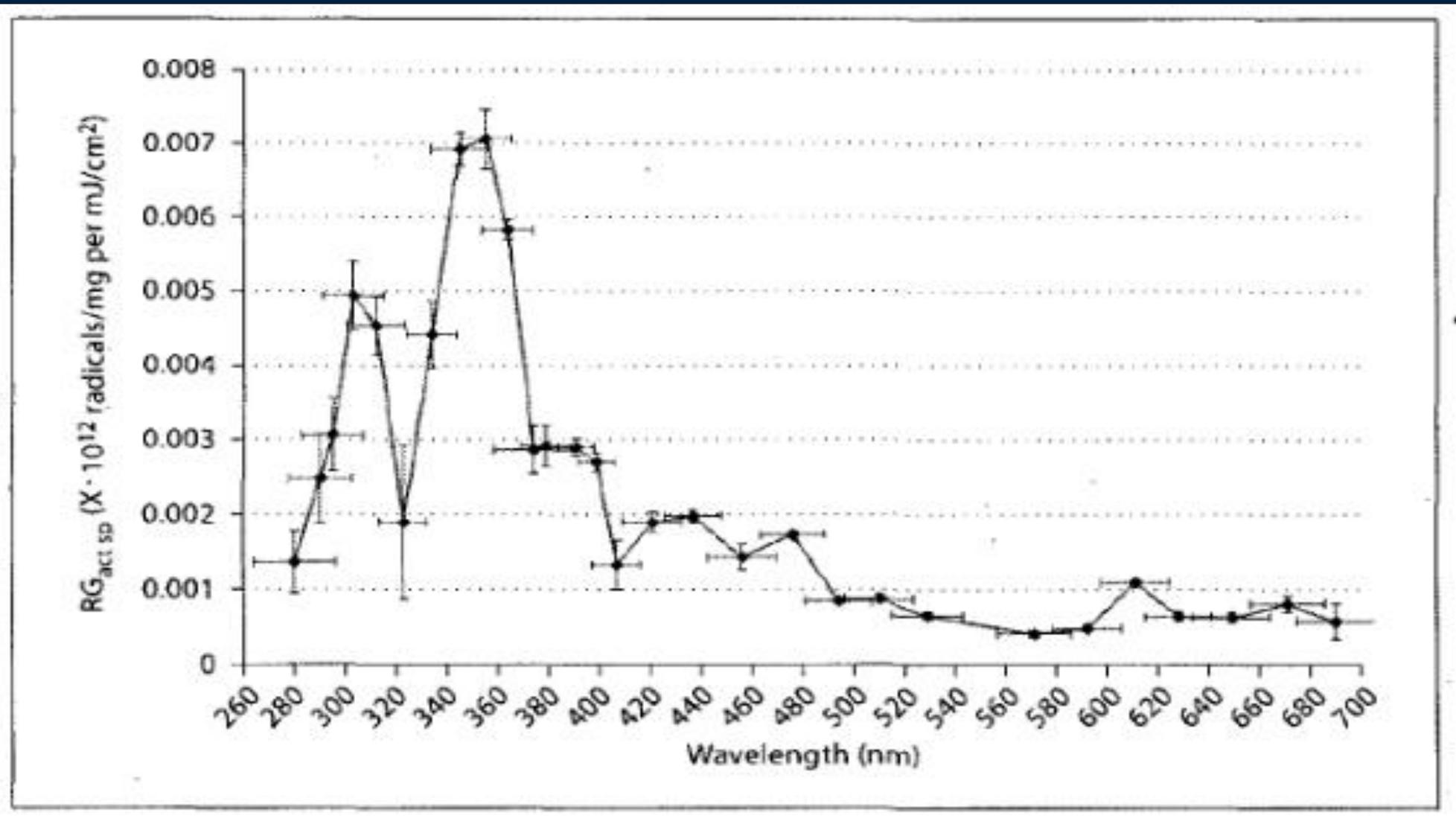
*(Bassel H.M., C.L. Hexsel, I.H. Hamzavi, H.W. Lim. Effects of visible light on the skin. Photochem Photobiol 84: 450-462, 2008.)*

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

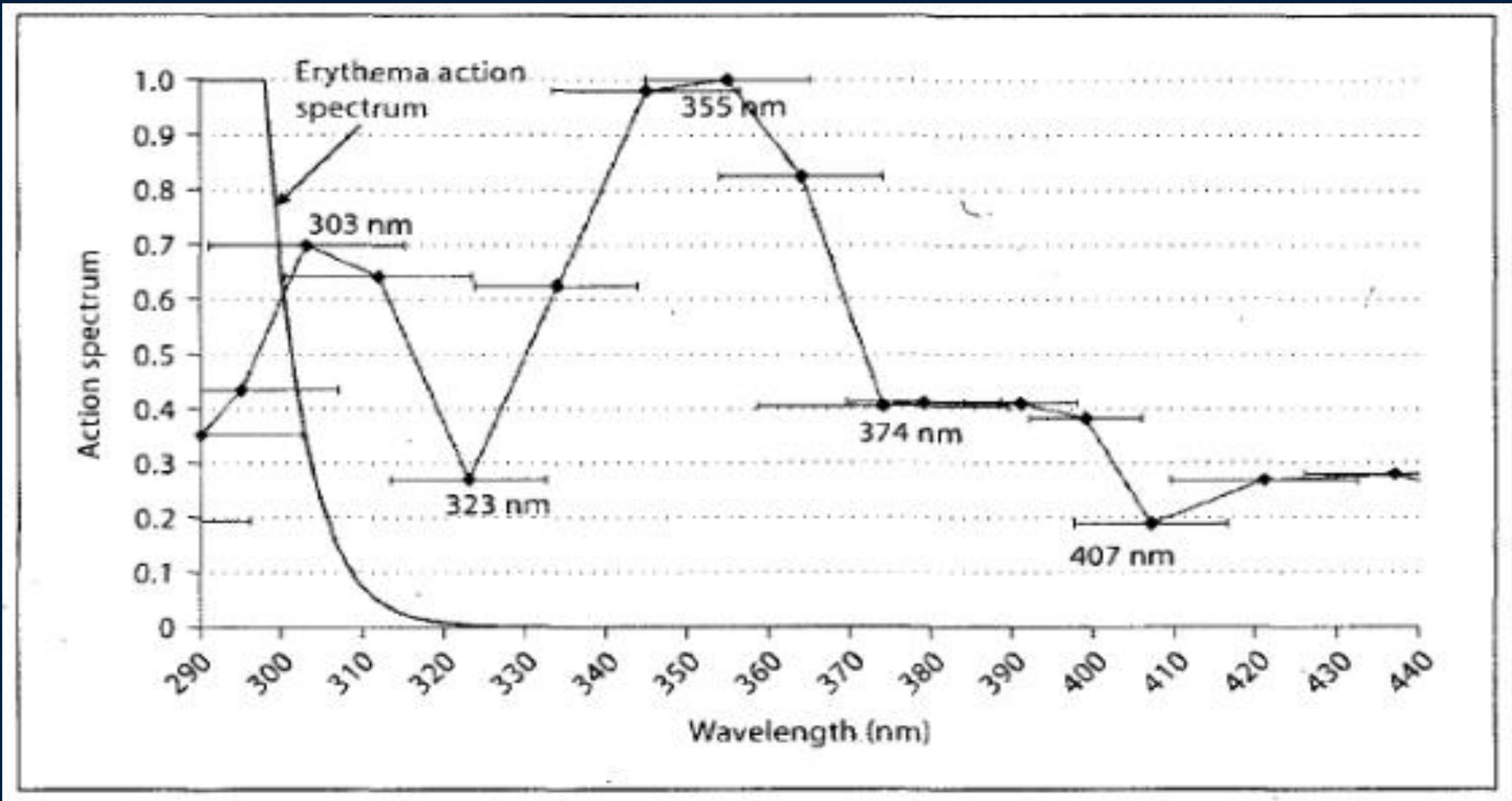
## MISE EN ÉVIDENCE DE LA FORMATION DE RADICAUX LIBRES DANS LA PEAU HUMAINE (2)

- 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.

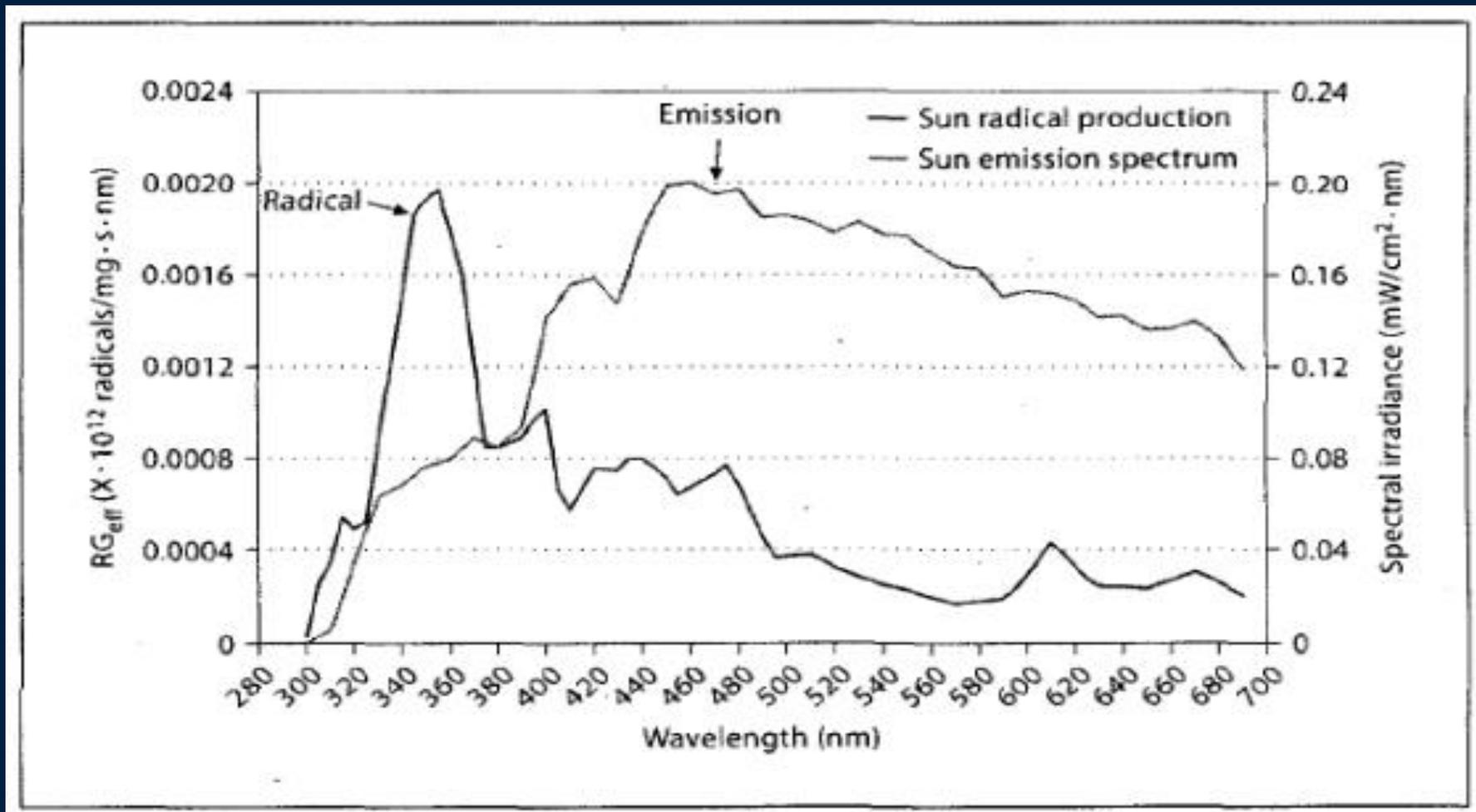
*(Zastrow L., N. Groth, F. Klein, D. Lockott, J Iadermann, R; Renneberg, L. Ferrero. The Missing Link – Light-induced (280-1,600 nm) free radical formation in human skin. Skin Pharmacol Physiol 22 : 31-44, 2009).*



Spectre d'action de la production radicalaire par mg de peau et par  $mJ/cm^2$  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 érythémal normalisé 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)

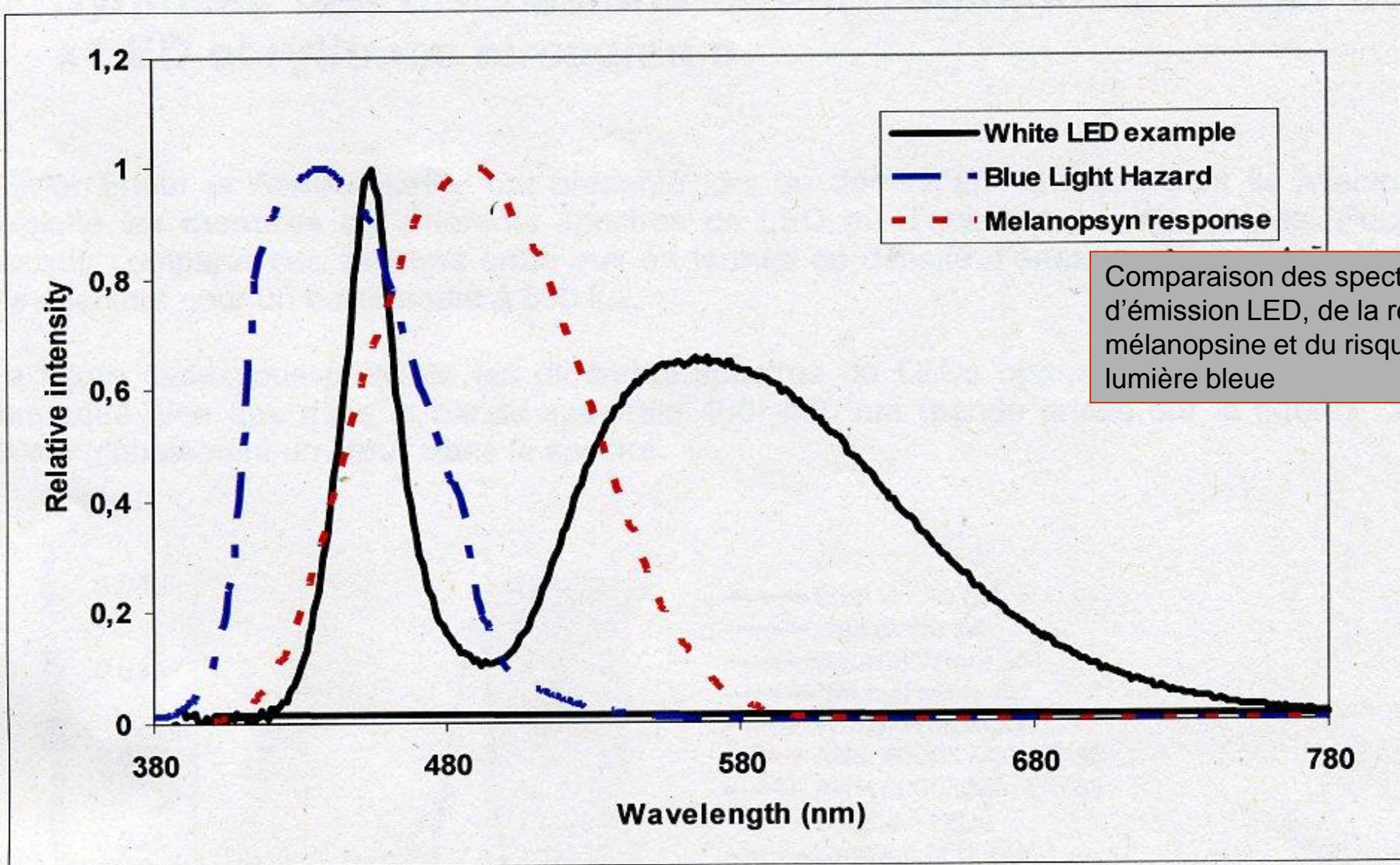
- Les progrès de la connaissance de la pénétration du rayonnement visible dans la peau, les études concernant le spectre d'absorption de chromophores endogènes et exogènes dans la peau ont conclu à l'existence d'effets biologiques variés exercés par la portion visible du spectre des rayonnements non 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.**

# LEDs & SYSTÈMES DE PHOTO-RÉCEPTION SECONDAIRE

- 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 ⇒ 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).



Comparaison des spectres d'émission LED, de la réponse mélanopsine et du risque de la lumière bleue

# 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 similaires afin de **réduire ou supprimer** entièrement le rayonnement ultraviolet
  - pour les travailleurs postés
  - le risque d'aggravation des symptômes chez les sujets sensibles à la lumière ».

# CONCLUSIONS & RECOMMANDATIONS (ANSES 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 (ANSES 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, crèches, locaux éducatifs, dans les jouets, consoles, etc..

# Photobiological safety of lamps and lamp systems. CIE standard DS 009.2/E, 2001 – standard ISO

- Ce standard présente un guide pour assurer la sécurité photobiologiques des lampes et des systèmes de lampes y compris les luminaires.
- Il spécifie les limites d'exposition, les techniques de mesures de référence et un classement des sources pour l'évaluation et le contrôle des risques photobiologiques de toute source alimentée électriquement, à émissions incohérentes, y compris les LEDs à l'exclusion des lasers.
- Les longueurs d'onde de 200 nm jusqu'à 3000 nm font l'objet de ce standard.

# DS 009.2/E, 2001 Limites d'exposition(s) aux risques

- Exposition au risque UV actinique pour la peau et l'œil
- Limites d'exposition au rayonnement UV proche, pour l'œil
- Limites d'exposition au risque de la lumière bleue (rétine)
- Limites d'exposition au risque de la lumière bleue (rétine) – source ponctuelle
- Limites d'exposition au risque thermique rétinien
- Limites d'exposition au risque thermique rétinien – en situation de stimulus visuel faible
- Limites d'exposition au risque présenté par les radiations infrarouges pour l'œil
- Limites d'exposition au risque thermique pour la peau

# DS 009.2/E, 2001 Classification des lampes (coopération avec IEC SC 34A) (1)

➤ **Groupe d'exemption** : toute lampe qui ne présente pas les risques suivants :

- Risque UV actinique ( $E_s$ ) pendant une exposition de 8 heures
- Risque proche UV ( $E_{UVA}$ ) pendant 1.000 secondes
- Risque rétinien lumière bleue ( $L_B$ ) pendant 10.000 secondes
- Risque rétinien thermique ( $L_R$ ) pendant 10 secondes
- Risque infrarouge pour l'œil ( $E_{IR}$ ) pendant 1.000 secondes

➤ **Groupe de risque 1** (risque faible) : toute lampe qui excède les limites du groupe d'exemption et qui ne pose pas de problème de

- Risque UV actinique ( $E_s$ ) pendant une exposition de 10.000 secondes
- Risque proche UV ( $E_{UVA}$ ) pendant 300 secondes
- Risque rétinien lumière bleue ( $L_B$ ) pendant 100 secondes
- Risque rétinien thermique ( $L_R$ ) pendant 10 secondes
- Risque infrarouge pour l'œil ( $E_{IR}$ ) pendant 100 secondes

# DS 009.2/E, 2001 Classification des lampes (coopération avec IEC SC 34A) (2)

- **Groupe de risque 2** (risque modéré) : toute lampe qui excède les limites du groupe d'exemption et qui ne pose pas de problème de
  - Risque UV actinique ( $E_s$ ) pendant une exposition de 1.000 secondes
  - Risque proche UV ( $E_{UVA}$ ) pendant 100 secondes
  - Risque rétinien lumière bleue ( $L_B$ ) pendant 0,25 secondes
  - Risque rétinien thermique ( $L_R$ ) pendant 0,25 secondes
  - Risque infrarouge pour l'œil ( $E_{IR}$ ) pendant 10 secondes
- **Groupe de risque 3** (risque élevé) : toute lampe qui excède les limites du groupe 2 se trouve de facto dans le groupe de risque 3

➤ **Annexe A:** résumé des effets biologiques

- Cataractes aux R. infrarouges
- Photo-kératites
- Photo-rétinites
- Blessures rétiniennes thermiques
- Cataractes aux R. ultraviolets
- Érythème cutané aux R. ultraviolets

➤ **Annexe B:** méthodes de mesure

➤ **Annexe C:** analyse de l'incertitude

➤ **Annexe D:** références générales

# Mesure et présentation des données photométriques des lampes et des luminaires. Part. 1 : Mesurage et format de données. Norme NF EN 13032-1, 2004

- Cette norme établit les principes généraux pour la mesure des données photométriques de base utilisées en éclairagisme. Elle établit les critères de mesure nécessaire à la normalisation des documents concernant les données photométriques de base et les détails du format CEN pour les transferts électroniques des données.
- **La partie 1** fournit les mesures photométriques de base et le format des fichiers des données
- **La partie 2** présente les données photométriques de l'éclairage des lieux de travail intérieurs et extérieurs
- **La partie 3** présente les données photométriques de l'éclairage de secours
- **La partie 4** présente les données photométriques de l'éclairage sportif
- **La partie 6** présente les données photométriques de l'éclairage des tunnels

# 19<sup>e</sup> Directive relative aux risques dus aux agents physiques (rayonnements optiques artificiels), 2006. CEE.

- Concerne les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux rayonnements optiques artificiels

*A l'évidence, cette directive ne concerne pas les travailleurs exposés au rayonnement solaire (outdoor workers)*

- Introduction de mesures protégeant les travailleurs des risques liés aux rayonnements optiques
- Etablit les prescriptions minimales en faveur de la protection des travailleurs en fixant des valeurs limites d'exposition
- Le niveau d'exposition sera efficacement réduit par
  - L'introduction de mesures préventives lors de la conception des postes de travail
  - La priorité donnée aux procédés et méthodes lors du choix des équipements
  - Les privilèges donnés aux mesures de protection collectives

# 19<sup>e</sup> Directive : obligation des employeurs et dispositions diverses

- Article 4 : détermination de l'exposition et évaluation des risques
- Article 5 : disposition visant à éviter ou réduire les risques
- Article 6 : information et formation des travailleurs
- Article 7 : consultation et participation des travailleurs
- Article 8 : surveillance de la santé
  
- Annexe 1 : rayonnement optique incohérent : calcul des valeurs d'exposition
- Annexe 2 : tableaux des valeurs limites d'exposition pour les rayonnements optiques incohérents
  - Fonctions  $S(\lambda)$  de 180 à 400 nm –  $B(\lambda)$ ,  $R(\lambda)$  de 380 à 1400 nm – Rayonnements optique laser, les risques associés et tableaux des valeurs limites d'exposition de l'œil aux lasers de courte durée (< 10 secondes), de longue durée (>10 secondes), de la peau au lasers.

# LE RISQUE UV

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS):

- constate l'augmentation au 20e siècle de l'incidence des cancers cutanés (\*) et les risques avérés d'augmentation des RUV au 21<sup>e</sup> siècle
- met en place le programme INTERSUN basé sur le trépied:
  - a) **Réduction des émissions de CFC et autres aérosols responsables de la réduction de la couche d'ozone, qui a pour conséquence, l'augmentation des RUV terrestres surtout sensible sous les latitudes tempérées**
  - b) **Mise en place d'un Index-UV Universel, outil majeur destiné à la communication des risques vis à vis du public**
  - c) **Recommandations, destinées aux autorités sanitaires et éducatives, concernant les populations particulièrement à risque : les enfants, les sujets incapables de bronzer, etc.**

(\*) IARC (1992). *Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks to Humans. Vol 55, Solar and Ultraviolet Radiation. Lyon. International Agency for Research on Cancer.*

# EXPOSITIONS PERSONNELLES AUX RUV AU TRAVAIL

- **Travailleurs en extérieur: la source naturelle la plus importante est le soleil**
  - Ils reçoivent environ 10% du niveau ambiant.
  - Les travailleurs des stations de sports d'hiver ou les marins reçoivent 20% de l'UV ambiant (réflexions).
- **Travailleurs en bureau:**
  - Ils reçoivent 3% des radiations ambiantes totales (à titre indicatif ceci représente la moitié de l'exposition pendant le week-end).
  - Ils sont exposés aux sources artificielles de RUV émises intentionnellement pour exécuter un travail spécifique ou non intentionnellement (éclairage, etc)

# Détermination et évaluation du niveau d'exposition UV utilisant la norme EN 14255-1 (1)

- **ANALYSE PRÉLIMINAIRE:** déterminer s'il y a ou non une évaluation du risque basée sur des mesures antérieures – y a-t-il un risque perceptible ou une situation clairement dangereuse?
- **ANALYSE DU PROBLÈME:** recueil de toutes informations sur activités et situations où les personnes peuvent être exposées aux RUV – base pour les mesures: formulaire en annexe.
- **MESURE DE L'EXPOSITION AUX RUV:** 2 types de mesures
  - Appareils de surveillance (précision limitée, monitoring)
  - Mesures dont les résultats doivent être comparés aux valeurs limites (grande précision) – Dosemètres à bande large. Détecteurs spécifiques pour effets biologiques. Spectroradiomètres –  
*(méthodes et appareils sont détaillés dans la norme)*

# Détermination et évaluation du niveau d'exposition UV utilisant la norme EN 14255-1 (2)

- Calcul de l'exposition aux RUV: par comparaison entre les niveaux d'exposition calculés et les valeurs limites recommandées.
- Décision concernant les mesures de protection:
  - Si niveaux d'exposition en dessous des valeurs limites: pas d'action nécessaire (principe ALARA ?)
  - Si valeurs limites dépassées, mise en œuvre de mesures de protection pour réduire l'exposition aux RUV
- Décision de répéter les mesures de RUV et l'évaluation: si les conditions d'exposition ont changé

# Détermination et évaluation du niveau d'exposition UV utilisant la norme EN 14255-1 (3)

- Préparation du rapport: le standard établit une distinction entre deux catégories de rapports qui peuvent être préparés:
  - Rapport court si seule l'analyse préliminaire a été pratiquée
  - Rapport complet (détaillé) si l'on a effectué des mesures et des évaluations

*Pour les deux types de rapports, les données essentielles devant y figurer sont précisées.*

*L'EN 14255-1 offre un guide pratique avec un organigramme, des tableaux pour l'analyse des valeurs, les appareils et méthodes à analyser et des exemples de mesures de protection.*

# Valeurs limites pour les radiations ultraviolettes

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : Threshold limit values (TLVs) for chemical substances and physical agents, and biological exposure indices. Cincinnati, OH: 1999.

- TLVs pour RUV (180 – 400 nm) représentent les conditions auxquelles on estime que pratiquement tous les travailleurs peuvent être régulièrement exposés sans effets négatifs sur la santé.
- Ces valeurs concernent l'œil et la peau quelle que soit la source des RUV (lasers exclus). Elles sont utilisées comme guide pour les sources continues et des expositions supérieures à 0,1 sec.

*Le seuil de la kératite (cornée) est de l'ordre de 0,3 SED (peau)*

# VALEURS RECOMMANDÉES

- Les TLVs pour les expositions de la peau et des yeux aux RUV pendant le travail doivent être calculées et les durées d'exposition contrôlées.
  - 320 – 400 nm (UVA): l'irradiance totale ne doit pas excéder 10 W/m<sup>2</sup> pour une durée d'exposition supérieure à 16 minutes. Pour une durée d'exposition inférieure, la dose ne doit pas excéder 10 kJ/m<sup>2</sup>.
  - L'irradiance incidente sur peau ou œil non protégés ne doivent pas dépasser les valeurs données par le tableau 2 pendant une période de 8 heures
  - La durée d'exposition à une source de RUV ne doit pas dépasser le temps correspondant à une dose de 30 J/m<sup>2</sup><sub>eff</sub>.

*Ceci représente environ 1/3 d'unité SED (100 J/m<sup>2</sup>)*

# Guide protecting workers from ultraviolet protection: ICNIRP, ILO, WHO, 2007 (1)

- *Ce guide pratique est très complet. Il intéresse non seulement la protection des travailleurs postés en intérieur mais également les travailleurs en extérieur.*
- *Il met l'accent non seulement sur les risques d'irradiations répétées sur l'œil mais également les risques répétés des expositions de la peau.*
- *Pour la peau, il prend en compte les sensibilités individuelles et les capacités d'adaptation.*
- *Dans les mesures de protection, il privilégie les protections physiques en tenant compte des spécificités des travaux en extérieur et de la faisabilité.*
- *Il s'appuie sur les documents issus de l'ICNIRP, de l'OMS, et des Communautés européennes et fait largement référence aux différents documents qui ont valeur de normalisation dans les pays à forte insolation.*

## Guide protecting workers... Mesures de protection pour les sources artificielles de rayonnement UV (2)

- Contrôle de la fabrication des sources
- Elimination des réflexions
- Ventilation et risques mécaniques
- Mesures de contrôle administratif : exercice – limitation des accès – signalisation des risques
- Protection personnelle de la peau et des yeux

**Expositions autorisée aux radiations ultraviolettes (tableau 2)**

<b>Durée des expositions journalières</b>	<b>Irradiance efficace, <math>E_{\text{eff}}</math> (<math>\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}</math>)</b>
8 heures	0,1
4 heures	0,2
2 heures	0,4
1 heure	0,8
30 minutes	1,7
15 minutes	3,3
10 minutes	5
5 minutes	10
1 minute	5
30 secondes	100
10 secondes	300
1 seconde	3 000
0,5 seconde	6 000
0,1 seconde	30 000

# Valeurs limites des expositions aux radiations et fonction de pondération spectrale (tableau 1)

Longueur d'onde	Valeur limite max (J.m <sup>-2</sup> )	Valeur limite max (J.m <sup>-2</sup> )	Valeur limite max (J.m <sup>-2</sup> )
200	1000	100	0,030
250	60	6,0	0,50
280	34	3,4	0,88
297	65	6,5	0,46
303	250	25	0,12
313	5000	500	0,006
320	2,9 x 10 <sup>4</sup>	2,9 x 10 <sup>3</sup>	0,001
333	8,1 x 10 <sup>4</sup>	8,1 x 10 <sup>3</sup>	0,00037
365	2,7 x 10 <sup>5</sup>	2,7 x 10 <sup>4</sup>	0,00011
400	1,0 x 10 <sup>6</sup>	2,0 x 10 <sup>5</sup>	0,000030

Irradiance efficace par rapport à la raie 297 nm,  $E_{eff} = \sum E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda$  où

$E_{\lambda}$  = irradiance spectrale en W/cm<sup>2</sup> nm,  $S_{\lambda}$  = efficacité spectrale réelle,  $\Delta\lambda$  = largeur de bande en nm

# Principales normes, standards et guides concernant le rayonnement optique: œil et peau

- **Photobiological safety of lamps and lamp systems.** CIE standard DS 009.2/E, 2001 – standard ISO
- **Mesure et présentation des données photométriques des lampes et des luminaires.** Partie 1 : Mesurage et format de données. Norme NF EN 13032-1, 2004
- **Mesurage et évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents.** Partie 1 : R.UV sur les lieux de travail (2005) – Partie 2 : R. visibles et infrarouges sur les lieux de travail (2006) – Partie 3 : R. solaire (sous presse) – Partie 4 : terminologie et grandeur pour mesurage de l'exposition au R.UV, Vis, IR (2006) Norme NF EN 14255-1, 2, 3, 4
- **19e directive relative aux risques dus aux agents physiques** (rayonnements optiques artificiels), 2006. CEE.
- **Guide protecting workers from ultraviolet protection:** ICNIRP, ILO, WHO, 2007
- **UV radiation and health,** WHO 2003
- **Solar Ultraviolet Radiation. Global burden of disease from solar ultraviolet radiation.** Environmental series N° 13 WHO, 2006

# PROTECTION PAR LES TEXTILES (UPF)

- European Standard: NF EN 13758-1 (2002) Textiles, propriétés de protection contre les rayonnements UV solaires. Part 1: Méthodes d'essai pour étoffe pour vêtements (AFNOR)
- British Standards Institute BS 7914 (1998). Method of test for penetration of erythemally weighted solar ultraviolet radiation through clothing fabrics. British Standards Institute BS 7949: (1999). Children's clothing. Requirements for protection against erythemally weighted solar ultraviolet radiation.
- 1996: AS/NZS 4399 « Sun Protective Clothing – Evaluation et Classification ».
- USA: ASTM D 6544, AATCC 183, ASTM 6603 Evaluation and labeling

# PROTECTION PAR LES PRODUITS ANTISOLAIRES (SPF)

- Protection solaire: recommandations concernant les conditions d'étiquetage des produits de protection solaire. AFSSAPS 2007
- COLIPA. Méthode de détermination du facteur de protection solaire. Les cahiers du pacte, Bruxelles; COLIPA 1995.
- FDA. Department of Health and Human Services. Sunscreen drug products for over-the counter human drugs; proposed safety, effective and labeling conditions. Federal Register, 1997.
- FDA. Department of Health and Human Services. Sunscreen drug products for over-the counter human drugs; proposed amendment of final monograph. Federal Register, 2007.

# 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

# Comment se procurer les documents

- [www.icnirp.org](http://www.icnirp.org)
- [www.who.dk/tech/eh/ehs02e.htm](http://www.who.dk/tech/eh/ehs02e.htm)
- CNFE Paris, Bureau central Vienne :  
[ciecb@ping.at](mailto:ciecb@ping.at)
- Norme NF EN : [www.afnor.fr](http://www.afnor.fr)
- [www.anses.fr](http://www.anses.fr)
- [www.soleil.info](http://www.soleil.info)

# Lectures recommandées

Documents AFSSET-INVS-AFSSAPS, Rayonnements ultraviolets : état des connaissances sur l'exposition et les risques sanitaires. Rapport 2005. Anses : 27-31, avenue du général Leclerc – 94701 Maisons-Alfort. France

Documents IEC - CEN/CENELEC, UTE: 33, avenue du Général Leclerc, 92260 Fontenay Aux Roses, France

Documents CIE/CNFE: 17 rue Hamelin, 75016 Paris, France

Documents ICNIRP: Ingolstaedter Landst. 1, 85764 Oberschleissheim, Germany

Documents OMS: 20 avenue Appia CH-1211, Genève 27, Suisse

- Rayonnement Ultraviolet et Peau. Coordination F. Aubin et P. Humbert, John Libbey Eurotext 2001, 268 pages
- Photodermatologie: Photobiologie cutanée, photoprotection et photothérapie. 2eme ed. Société Française de Photodermatologie, Arnette 2008, 449 pages.

# RÉFÉRENCES (documents de base)

- WHO, UNEP, ICNIRP (1994) Environmental Health Criteria 160: Ultraviolet Radiation. Ch 10. Human studies: the eye; pp 181-207.
- CIE TC6-14 report: blue light photochemical retinal hazard published in the CIE collection in Photobiology and Photochemistry 2000, 138/1.
- ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) (1997) Guidelines on limits of exposures for broadband incoherent optical radiation (0.38 to 3 $\mu$ m), Health Phys, **73**, 539-554. [www.icnirp.net/downloads.htm](http://www.icnirp.net/downloads.htm).
- European Union O.J. Directive 2006/25/EC of the European Parliament and of the Council. 05-2006 “On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation)” (19<sup>th</sup> individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC)”.  
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0025:fr:HTML
- SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks), (2008) Scientific opinion on light sensitivity, septembre 2008, EC-Directorate-General for Health & Consumers.  
[http://ec.europa.eu/scenihr/activities/scientific\\_opinions/scientific\\_opinion\\_on\\_light\\_sensitivity\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/scenihr/activities/scientific_opinions/scientific_opinion_on_light_sensitivity_en.pdf)

# LEDs & SYSTÈMES 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 ⇒ 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).

# 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  $O_2^{\cdot-}$
- 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 –  $\kappa$ B, phospholipase  $A_2$  acide arachidonique...

# 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

# RÉFÉRENCES (documents de base)

- WHO, UNEP, ICNIRP (1994) Environmental Health Criteria 160: Ultraviolet Radiation. Ch 10. Human studies: the eye; pp 181-207.
- CIE TC6-14 report: blue light photochemical retinal hazard published in the CIE collection in Photobiology and Photochemistry 2000, 138/1.
- ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) (1997) Guidelines on limits of exposures for broadband incoherent optical radiation (0.38 to 3 $\mu$ m), Health Phys, **73**, 539-554. [www.icnirp.net/downloads.htm](http://www.icnirp.net/downloads.htm).
- European Union O.J. Directive 2006/25/EC of the European Parliament and of the Council. 05-2006 “On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation)” (19<sup>th</sup> individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC)”.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0025:fr:HTML>
- SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks), (2008) Scientific opinion on light sensitivity, septembre 2008, EC-Directorate-General for Health & Consumers.

