



**Dr Jean-Pierre CESARINI, photobiologiste, INSERM
SFRP, Section Radiations non-ionisantes
Expert « Agents physiques » auprès de l'AFSSET,
Association Sécurité Solaire (*centre coopérateur OMS*)**

RISQUES OCULAIRES DU RAYONNEMENT BLEU

Septième Congrès national de
Radioprotection « SFRP 2009 »

Session 4 : 15-18 juin 2009 - Angers

LE RAYONNEMENT VISIBLE

★ **VIOLET**

380 nm – 440 nm

★ **BLEU**

440 nm – 495 nm

★ **VERT**

495 nm – 570 nm

★ **JAUNE**

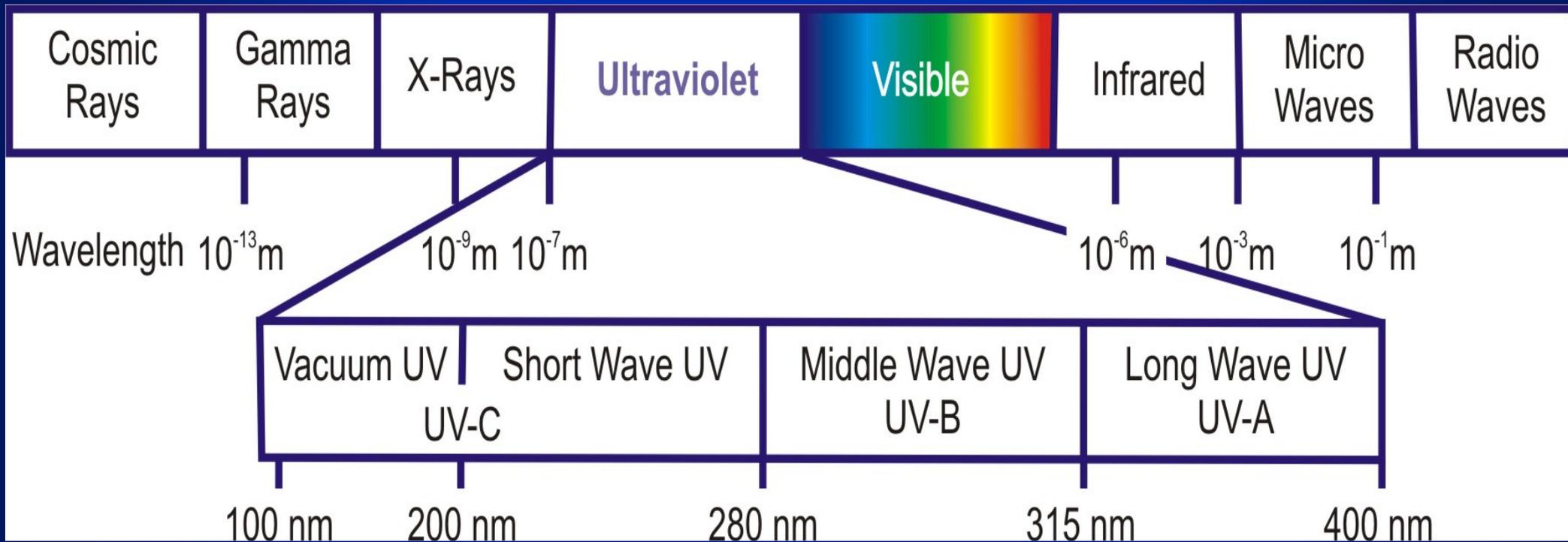
570 nm – 590 nm

★ **ORANGE**

590 nm – 620 nm

★ **ROUGE**

620 nm – 780 nm

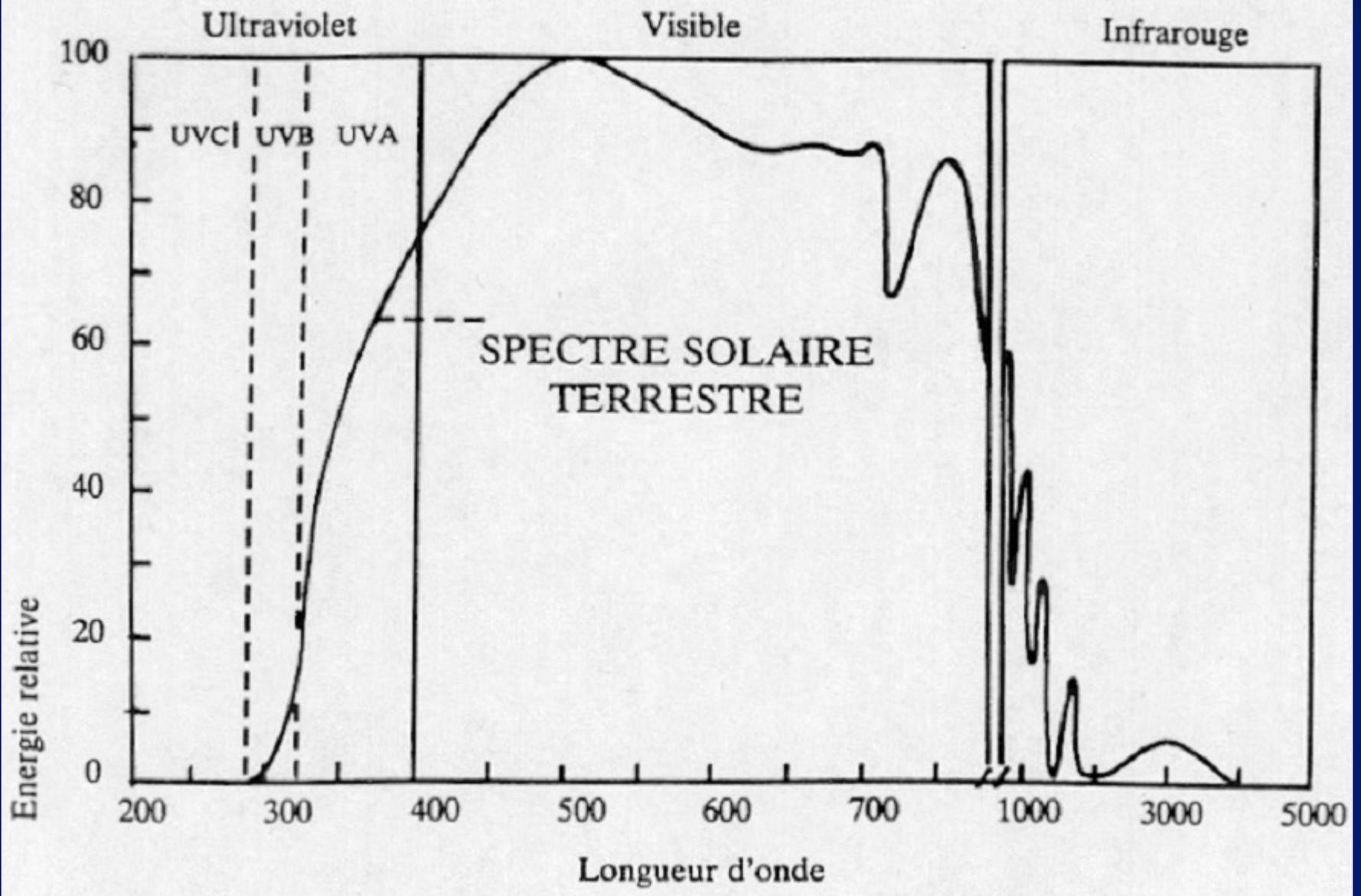


LE RAYONNEMENT UV

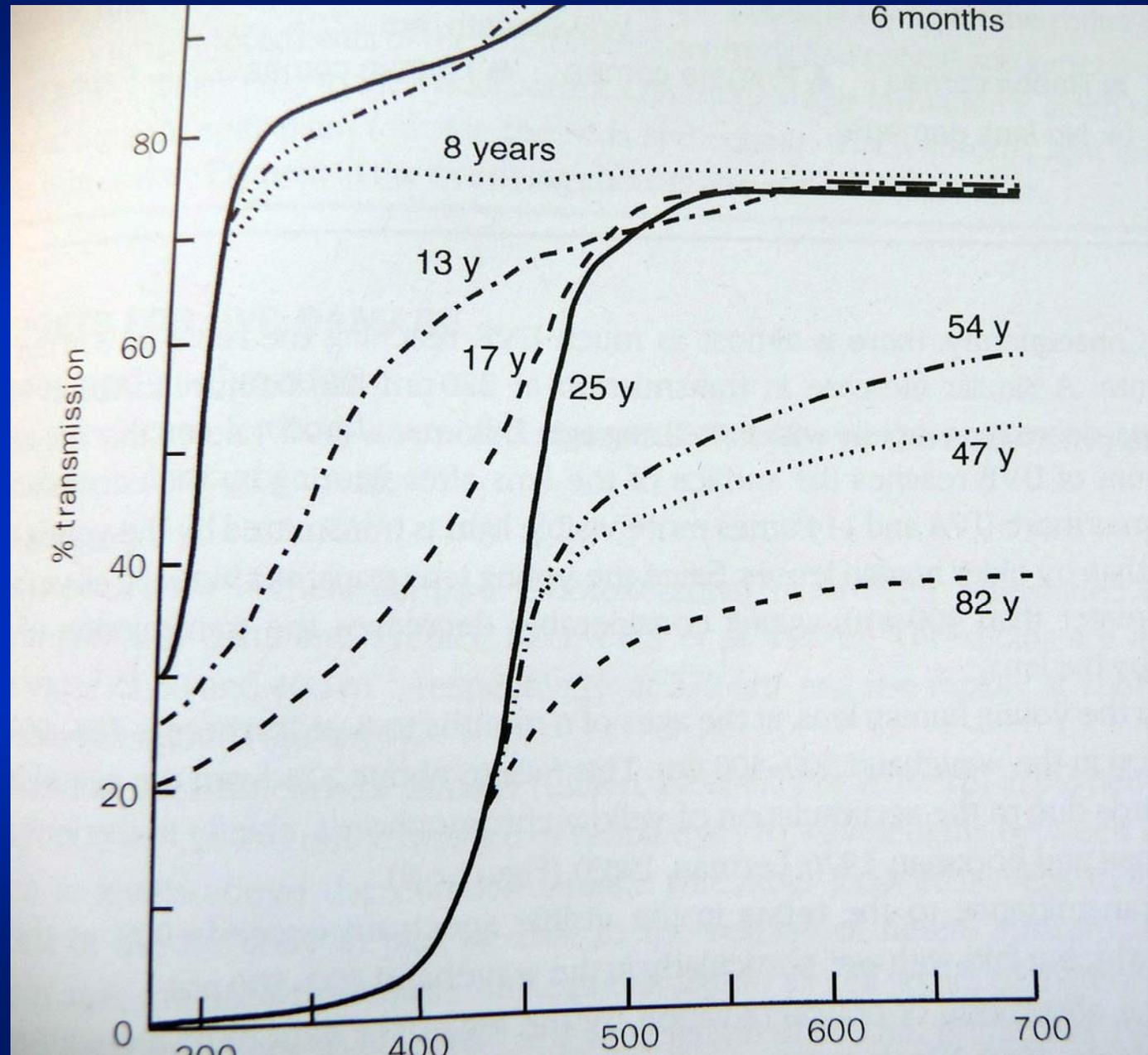
- ❖ Ultraviolet C : 100 nm – 280 nm
- ❖ Ultraviolet B : 280 nm – 320 nm[#]
- ❖ Ultraviolet A : 320 nm – 400 nm

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.

: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.

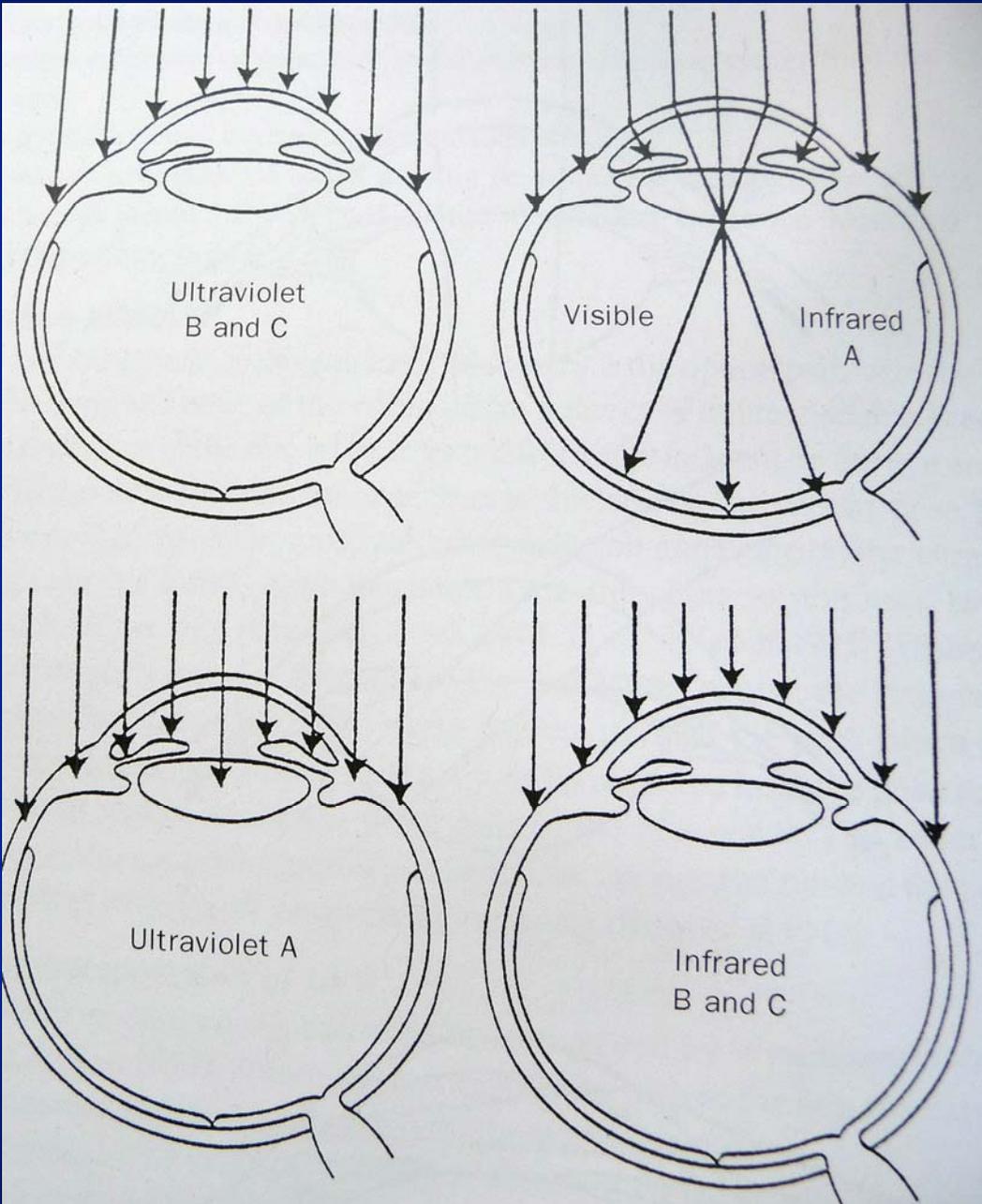


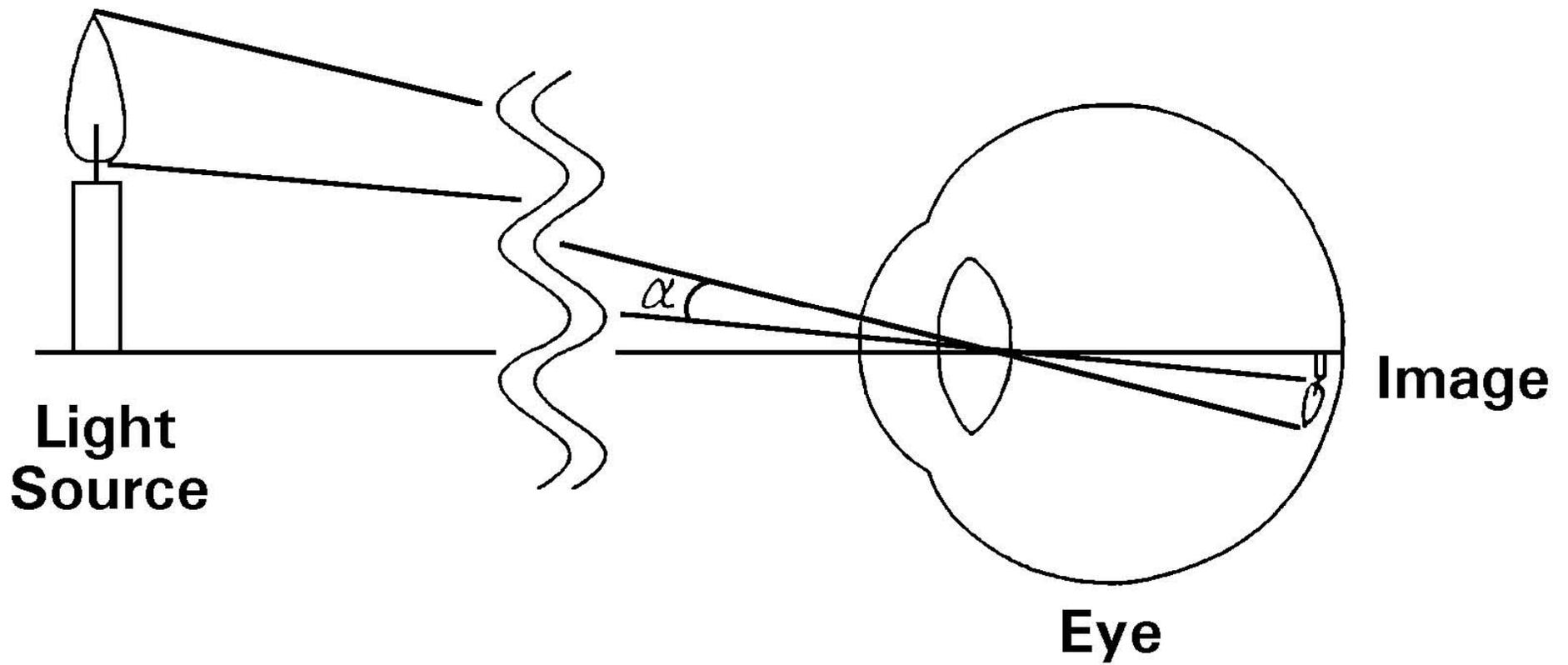
TRANSMISSION (%)
JUSQU'À LA RÉTINE
DU RAYONNEMENT
OPTIQUE EN
FONCTION DE L'ÂGE



SOURCES DE RAYONNEMENT BLEU

- ❖ **RAYONNEMENT SOLAIRE** : irradiance spectrale la plus importante, bloquée par l'atmosphère en dessous de 15° au dessus de l'horizon, fonction de la saison, de la latitude, de l'heure de la journée.
- ❖ **RAYONNEMENTS ARTIFICIELS** : sources d'éclairage dites « naturelles », « type Lumière du jour », public et domestique produit par différentes technologies:
 - Lasers,
 - Light Emitting Diodes (LED)
 - Compact Fluorescent Lighting (CFL)
 - Lampes xénon
 - Lampes halogènes
 - Photothérapies: jaunisse néonatale, dépression saisonnière.







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.

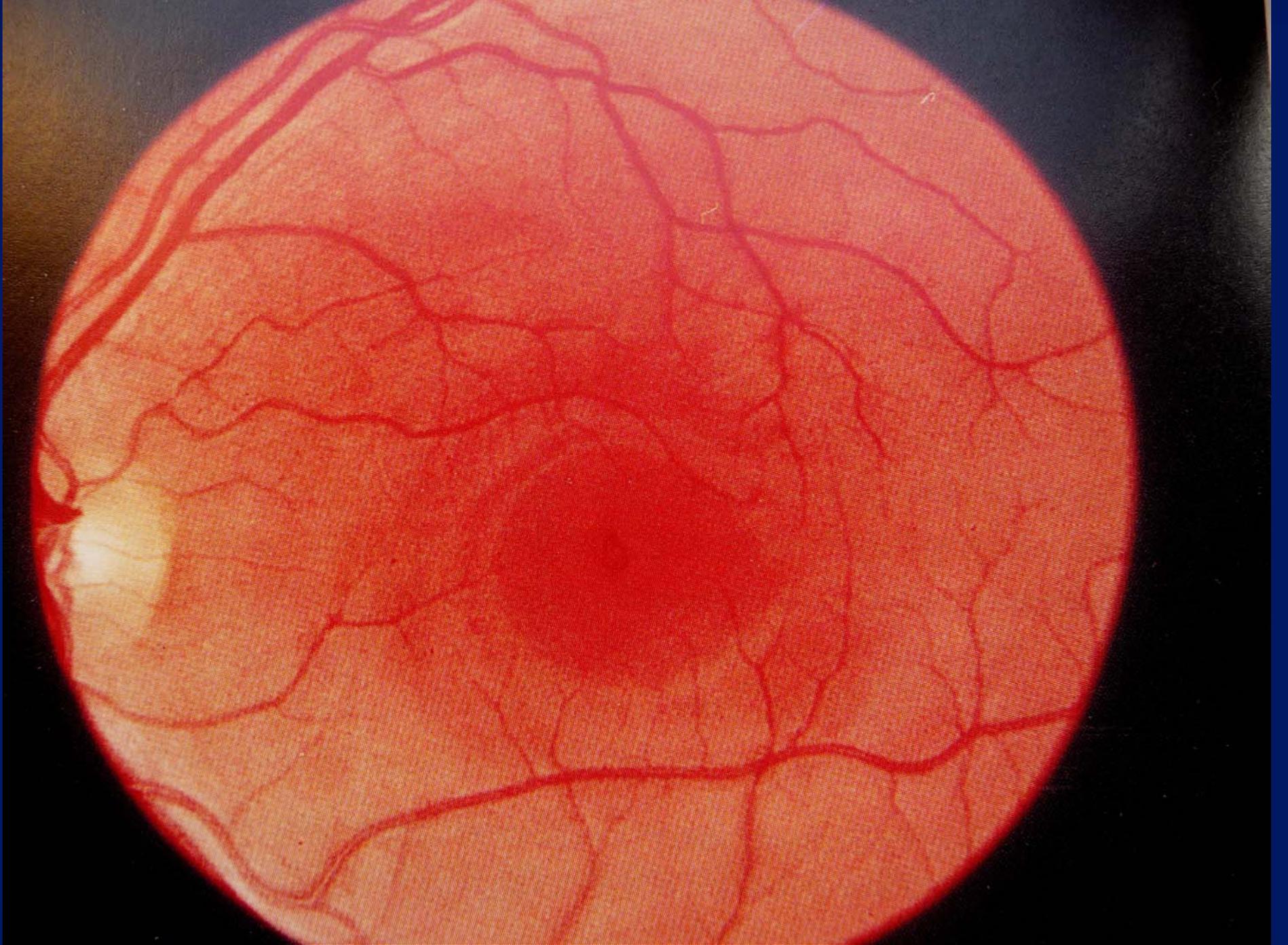
Lésions photochimiques ou photothermiques

PATHOLOGIES 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). Cause à long terme de la Dégénérescence Maculaire Liée à l'Âge (DMLA)?

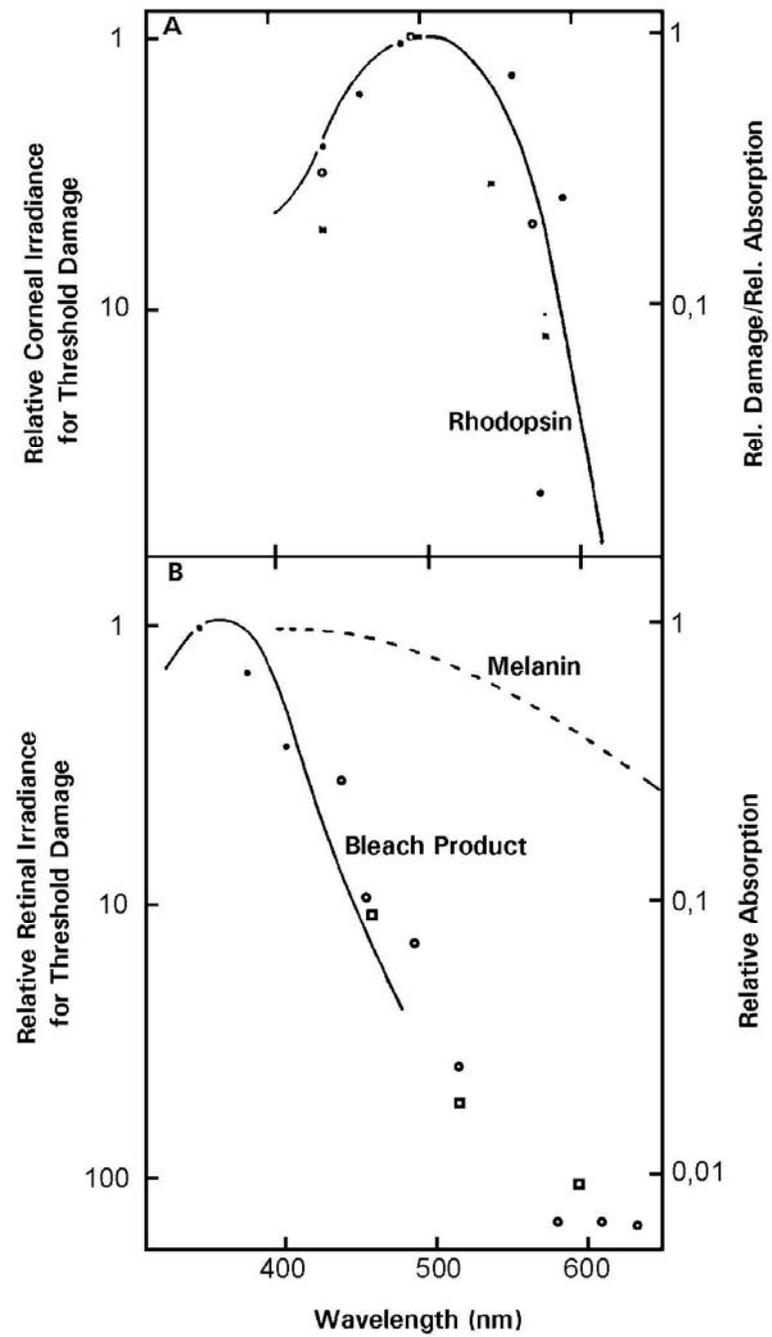
BLESSURES RÉTINIENNES = PHOTO-COAGULATION

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



BLESSURES RÉTINIENNES PHOTOCHEMIQUES

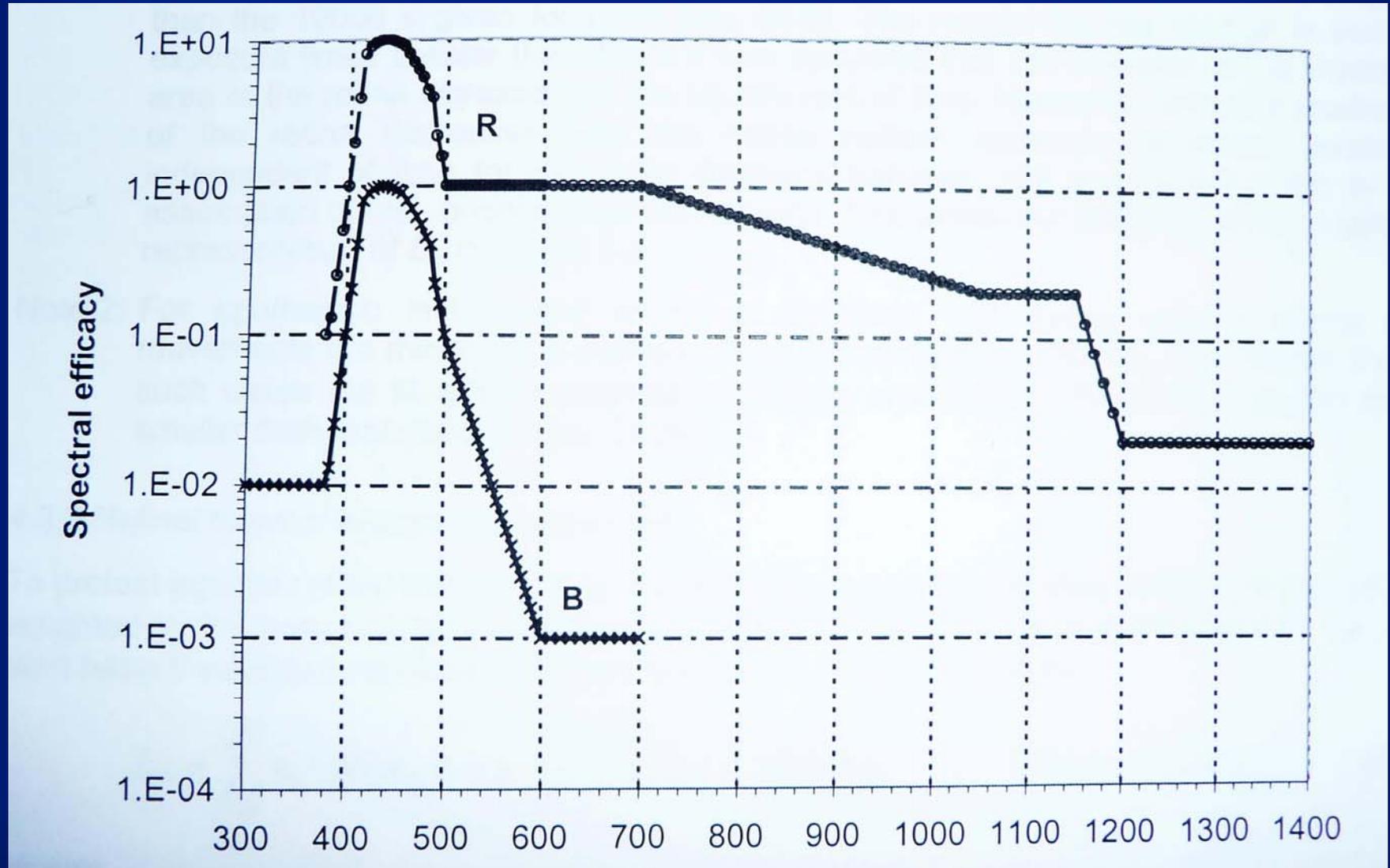
- ❖ Expositions de durée longue
- ❖ Niveaux d'éclairement énergétique relativement faibles
- ❖ Élévation thermique inférieure à 1°C
- ❖ Dose seuil d'exposition à partir de 22 J.cm⁻² à 446 nm
- ❖ Indépendante de la taille du spot rétinien
- ❖ Altérations de l'épithélium pigmentaire et des pigments des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



MÉCANISMES DE LA BLESSURE PHOTOCHEMIQUE

- ❖ **Une faible irradiance rétinienne** accompagnée d'une durée d'exposition de plusieurs heures (expositions généralement répétées plusieurs jours de suite): absorption spectrale directe du flux lumineux par la rhodopsine des bâtonnets
- ❖ **Une irradiance rétinienne élevée:** présente un pic maximum pendant une durée d'exposition courte (généralement une exposition durant quelques minutes à quelques heures) : pic maximum dans UV et proche visible.

FONCTIONS SPECTRALES PONDÉRÉE DE LA BRÛLURE RÉTINIENNE ET DU BLH



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

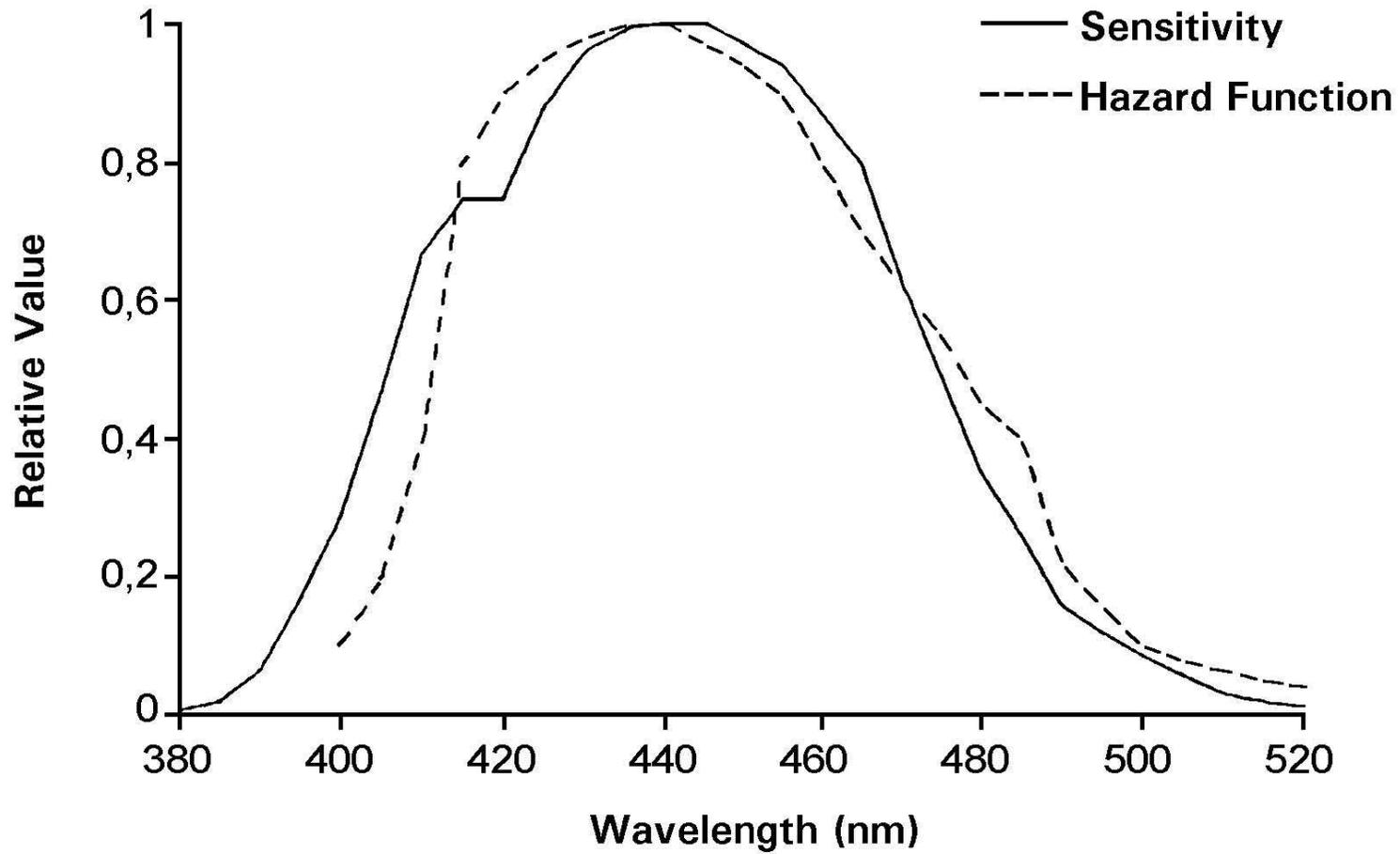
Sources	Lampe (W)	Rayonnement (W)	Luminance énergétique (W.m ⁻² sr ⁻¹)	Champ de λ (nm)	% de lumière bleue
Rayonnement solaire	—	1 kW.m ⁻²	$2,2 \times 10^7$	200 – 2 500	5 – 10
Lampe à incandescence	10 – 2 000	9 – 1 800	1×10^2	300 – 2 500	0,5 – 2
Tungstène halogène	500 – 10 000	450 – 9 000	1×10^4	270 – 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	—

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)	00,00102
Lampe à incandescence (57 W)	00,000865
Lampe à fluorescence	00,00036
Valeur seuil pour une exposition de plus de 10 ⁴ secondes	00,001

APPAREILS DE MESURE DESTINES A L'ÉVALUATION DU RISQUE DE BLH

- ❖ Normes AFNOR (NF EN 13032-1, NF EN 142575-2):
Mesurage et formatage concernant le rayonnement visible et infrarouge émis par les sources artificielles
- ❖ Photomètre, dosemètre dont la sensibilité spectrale coïncide avec la fonction $B(\lambda)$



CALCUL DE LA VALEUR LIMITE DE SEUIL (TLV) DU RISQUE LIE A LA LUMIÈRE BLEUE

- **Luminance énergétique pondérée de la lumière bleue**

$$L_b = \int_{400}^{700} L_\lambda(\lambda) b(\lambda) d\lambda \text{ exprimé en W/(m}^2 \times \text{nm} \times \text{sr)}$$

où L_λ = luminance énergétique de la source

$b(\lambda)$ = fonction de pondération spectrale des effets photochimiques sur la rétine

- **Dose de luminance énergétique de la lumière bleue**

$$G_b = \int_{\Delta t_{\text{exp}}} L_b(t) dt \text{ exprimé en J/(m}^2 \times \text{sr)}$$

où dt = durée d'exposition

- **Limite du niveau d'exposition**

$$T_{\text{max}} = 100(\text{J.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}) / L_b$$

SENSIBILITÉ A LA LUMIÈRE

COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES : directive 2006

- ❖ Comité Scientifique (SCENIHR) : analyse de la sensibilité au rayonnement visible dans le cadre de l'usage des **sources lumineuses économiques**
 - Lampes Compactes Fluorescentes (CFLs)
 - Diodes Émettrices de Lumière (LED)
 - Sources Halogènes
- ❖ Risques induits par clignotement, champ électromagnétique et émission de lumière UV et bleue
- ❖ Extrapolation aux CFLs des informations concernant les tubes fluorescents traditionnels.
- ❖ Prise en compte d'environ 250 000 patients dans l'UE, sensibles à la lumière.

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 ».

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.



DÉGÉNÉRESCENCE MACULAIRE LIÉE A L'ÂGE (clinique)

- ❖ Une forme d'apparition précoce et une forme d'apparition tardive.
- ❖ Changements dégénératifs (drusens) de la membrane basale siégeant à l'interface de la rétine et de la choroïde
- ❖ Il a été suggéré que UVA et lumière bleue contribuent à la dégénérescence maculaire (Young, 1981). La prévalence de la DMLA est diminuée lorsqu'il y a opacification du cristallin, en particulier en cas de cataracte nucléaire.

DÉGÉNÉRESCENCE MACULAIRE LIÉE A L'ÂGE (épidémiologie)

- ❖ Professionnels: pêcheurs et constructeurs de barrages
Association nette entre DMLA et exposition à la lumière sur une période de 20 ans. Le port de lunettes est inversement associé à l'augmentation de la pigmentation rétinienne et des drusens rétiniens.
- ❖ Association entre DMLA exsudative et DMLA tardive avec la quantité d'expositions lors des loisirs chez l'homme et chez la femme.
- ❖ En Australie, association positive entre couleur bleue des yeux, hypersensibilité cutanée au soleil, coups de soleil fréquents, cancers cutanés et survenue tardive d'une DMLA.
- ❖ L'agression chronique par les radicaux libres induits par la lumière visible paraît être un mécanisme important dans l'induction de la DMLA. Cette hypothèse semble confirmée par la stabilisation des lésions après prise quotidienne d'antioxydants (sélénium) par voie orale (Césarini, 2004).

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
- ❖ **Protecteurs 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
- ❖ **Protecteurs vis à vis des lasers** : spécification technique originale (longueur d'onde, densité optique, définies par des standards de sécurité des lasers). Normes ISO

CONCLUSIONS et RECOMMANDATIONS

- ❖ **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 »...

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 μ m), Health Phys, **73**, 539-554. 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)” (19th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC)”.
2006
- ❖ SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks), (2008) Scientific opinion on light sensitivity, septembre 2008, EC-Directorate-General for Health & Consumers.

RÉFÉRENCES (normes)

- ❖ CIE Standard (2001) Photobiological safety of lamps and lamp systems. CIE DS 009.2/E: 2001 and EN 62471.
- ❖ AFNOR. Norme NF EN 13032-1 – 2004. Mesure et présentation des données photométriques des lampes et des luminaires – Partie 1 : Mesurage et format de données.
- ❖ AFNOR. Norme NF EN 14255-2 – 2006. Mesurage et évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents – Partie 2 : Rayonnements visibles et infrarouges émis par des sources artificielles sur les lieux de travail.

RÉFÉRENCES (Protection oculaire)

- ❖ ISO 4850-1979 Protection oculaire personnelle pour la soudure et techniques liées : filtres, qualité de transmission et utilisation
- ❖ ISO 4851-1979 Protection oculaire personnelle : filtres ultraviolets, qualité de transmission et utilisation
- ❖ ISO 4849-1981 Protection personnelle des yeux : spécification
- ❖ ISO 4854-1981 Protection oculaire personnelle : méthodes de test optiques

CALCUL DE LA VALEUR LIMITE DE SEUIL (TLV) DU RISQUE LIE A LA LUMIERE BLEUE

$$\sum_{400}^{700} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 10^{-2} \quad \text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad (t > 10^4 \text{ s})$$

$$\text{or } \leq 10^2 \quad \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

$$\sum_{400}^{700} L_{\lambda} \cdot t \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100 \quad \text{J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad (t \leq 10^4 \text{ s})$$

$$\text{or } \leq 10^6 \quad \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

$$t_{\text{max}} = 100 (\text{J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) / L_{\text{blue}} \quad \text{or} \quad 10^6 (\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) / L_{\text{blue}}$$