

# Rayonnements

## Optiques

### Artificiels



Bernard FONTAINE  
POLE SANTE TRAVAIL METROPOLE NORD, LILLE



# Éléments bibliographiques

- ◆ OMS, UV Radiation, EHC 160
- ◆ CIRC, Monographie 100D (2009)
- ◆ AFSSET, rapport UV, 2005
- ◆ INRS, ED 6113, 2011
- ◆ ANSES, rapport lumière bleue, 2010
- ◆ INCA, Cancers de la peau. *Risques environnementaux et professionnels. 2011*
- ◆ Norme NF EN 60825 1/A2
- ◆ Monographies CIRC 107 et 109 (2013)
- ◆ Kanerva and al, Handbook of Occupational Dermatology, *Springer Verlag Ed, 2000.*
- ◆ Nocturnal Light Exposure Impairs Affective Responses in a Wavelength-Dependent Manner. T. A. Bedrosian and al. *The Journ. Of Neurosc. August, 2013, 33(32): 13081-87.*

# Définitions

## Art. R4452-1 CT (1)

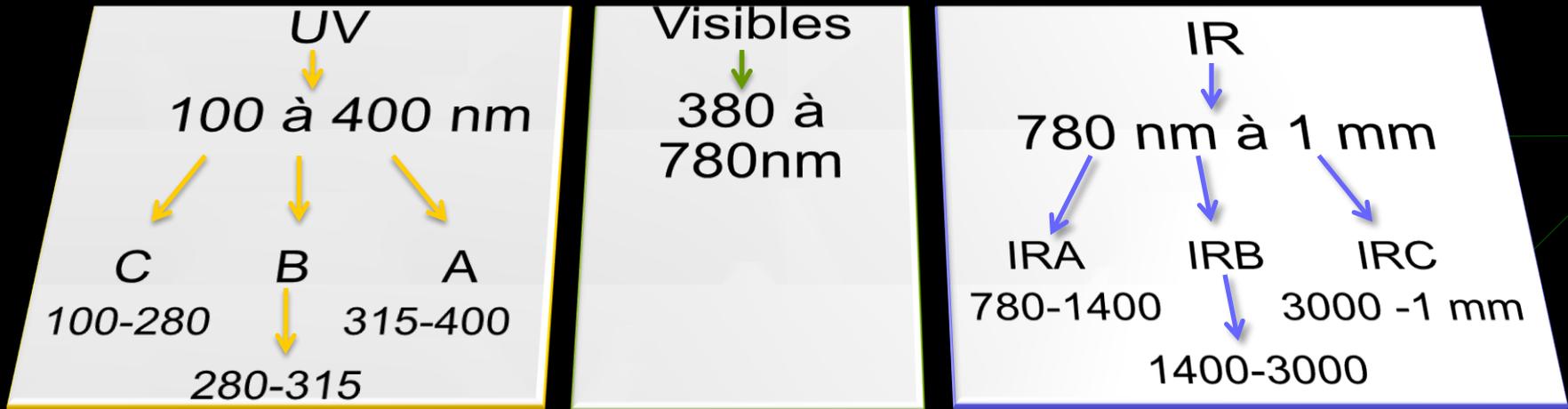
- ◆ Tous les rayonnements électromagnétiques d'une longueur d'onde comprise entre 100 nanomètres et 1 millimètre.

Le spectre de rayonnements optiques se subdivise en rayonnements :

- Ultraviolets
- Visibles
- Infrarouges.

# Définitions

## Art. R4452-1 CT (2)



UV A et B présents dans le rayonnement solaire reçu sur terre  
UV C (hormis espace et stratosphère) exclusivement artificiels.

# Unités

- ◆ Densité de puissance surfacique = éclairage énergétique **E**. Unité :  $\text{W}/\text{m}^2$ .
- ◆ Exposition énergétique **H**  
 $H = E \times \text{temps}$ . Unité :  $\text{J}/\text{m}^2$ .
- ◆ Luminance énergétique **L**  
 $L = E / \text{stéradian}$ . Unité :  $\text{J}/\text{m}^2 \cdot \text{str}^{-1}$ 
  - ex. les LED ont une luminance énergétique jusque 1000 fois > niveau entraînant une gêne.
- ◆ Niveau d'exposition d'un travailleur  
= combinaison de **E, H, L**.

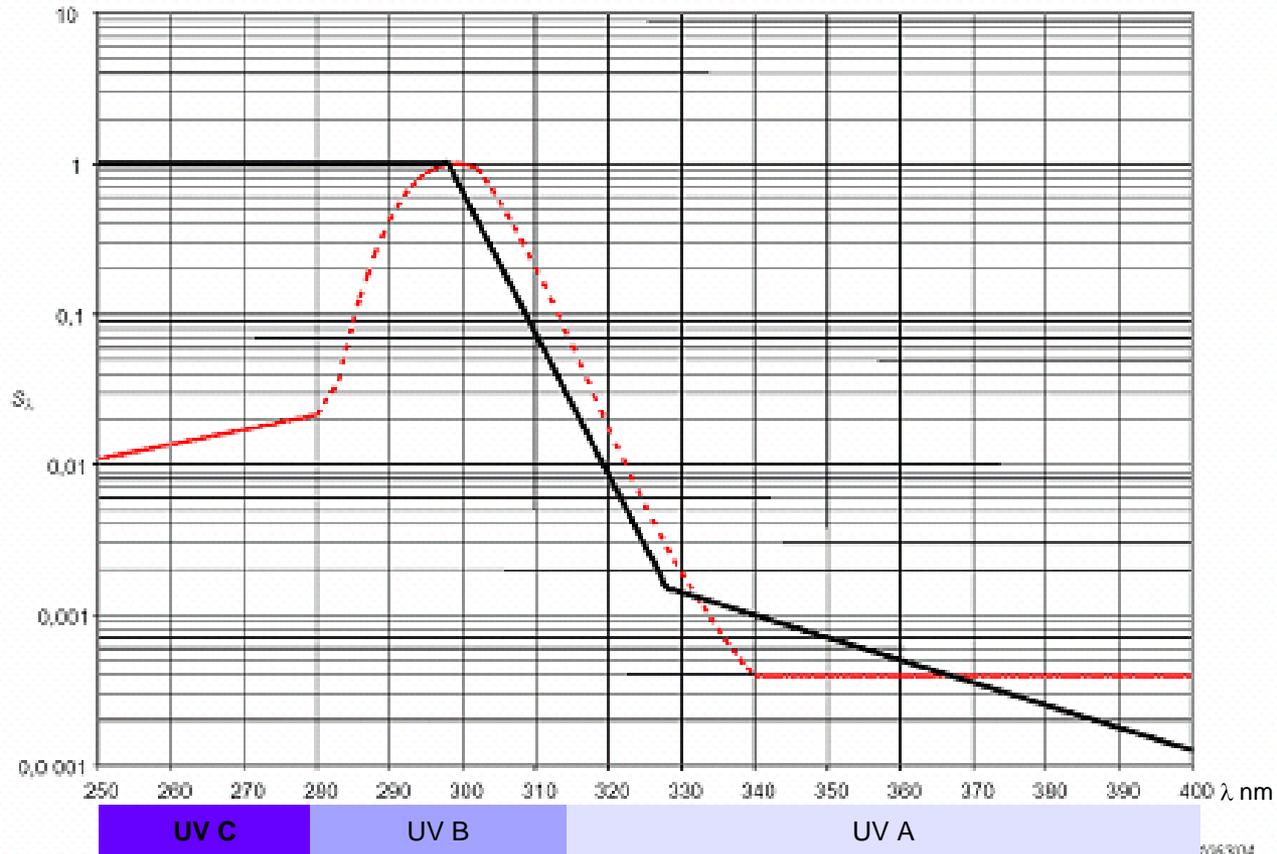
- ◆ Fondées directement sur les effets avérés sur la santé et considérations biologiques, dont le respect garantit la protection des travailleurs de tout effet nocif sur la santé.
- ◆ Nécessité de fiches d'exposition et de dossiers individuels pour les salariés exposés aux ROA.

# Actions des UV sur la santé (1)

- ◆ Action bénéfique indispensable : synthèse de la vitamine D
- ◆ Sont invisibles, donc pas de réflexe palpébral ni pupillaire
- ◆ Pas de différence d'effet sur la santé entre UV solaires et UV artificiels
- ◆ Actions indésirables :
  - Un préalable majeur : les UV sont de puissants mutagènes, et, à densité de puissance surfacique égale, sont 100 fois plus cancérigènes que les R.X.
  - 254 nm : fréquence de résonance physique de l'hélice d'ADN.
- ◆ Effets divers sur la santé :
  - Atteintes oculaires diverses
  - Brûlures cutanées
  - **Cancers de la peau** (basocellulaire, épidermoïde, mélanome malin).

# Actions des UV sur la santé (2)

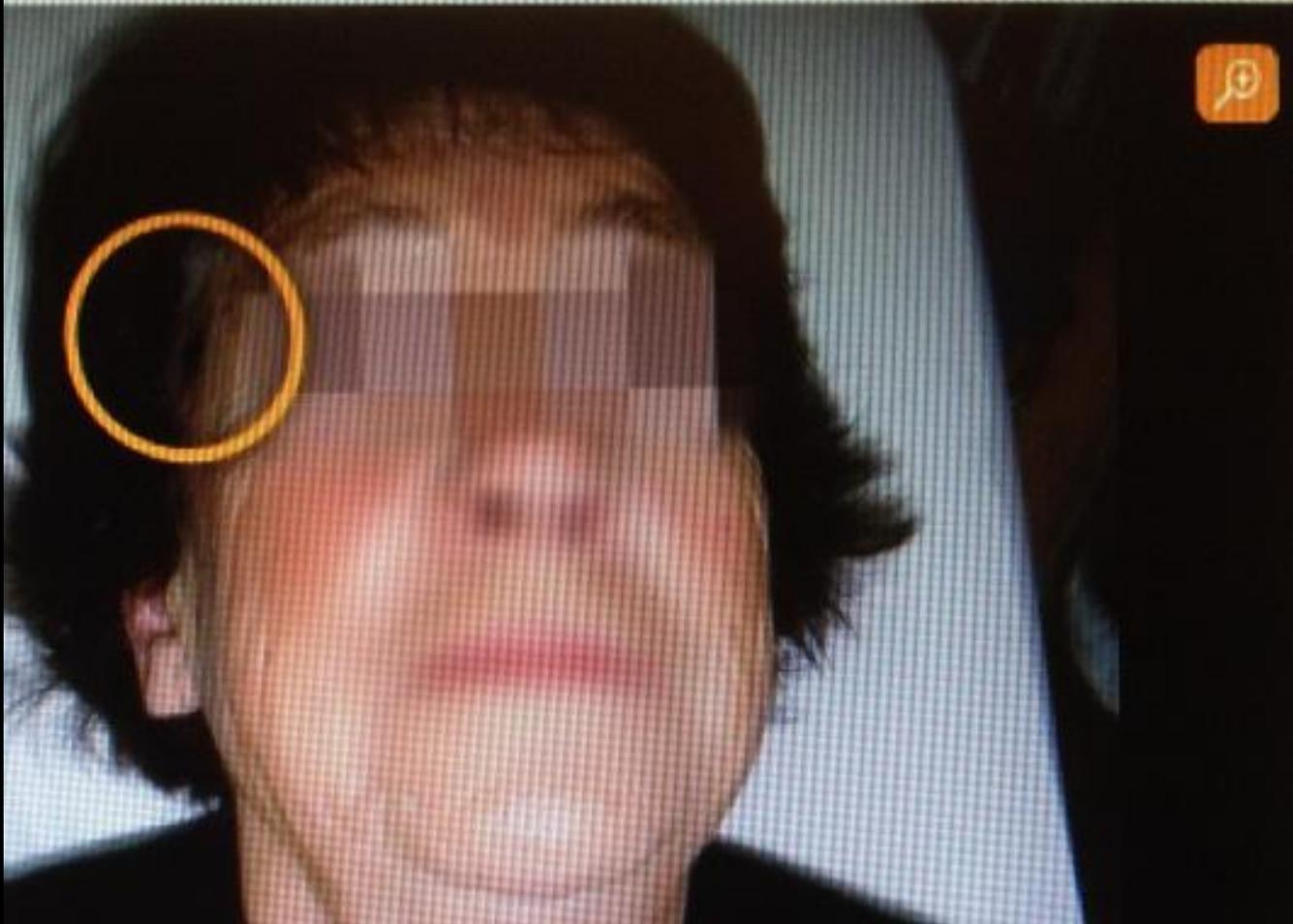
Figure I-1 : Spectre d'action érythémale et du cancer de la peau humaine.



*Ultraviolets – Etat des connaissances sur l'exposition et les risques sanitaires.  
Afsse, InVS, Afssaps – mai 2005.*

# Actions des UV sur la santé (3)

- Modification de la réponse immunitaire
- Augmentation de la susceptibilité aux maladies infectieuses
- Diminution de l'efficacité des vaccins
- Activation de différents gènes et virus (*ex. herpès*)
- Vieillissement cutané.



Monitrice de ski, retraitée, atteinte de vieillissement cutané (héliodermie) et d'un cancer temporal.

Photothèque INCA.



Cancers cutanés multiples chez un soudeur de 75 ans, de phototype clair, ne s'étant jamais protégé de l'arc avec un masque.

Tennstedt UCL., Photothèque INCA



Cancers cutanés multiples chez un couvreur de 58 ans.

Rôle de la réflexion solaire sur les tôles de zinc.

T. WIART. Photothèque INCA.

# Actions des UV sur la santé (4)

## Position du CIRC

- UV A, B ou C (> de 100 à 400 nm) : **groupe 1**.
- Utilisation de lampes ou tables à bronzer : **groupe 1** (2009) avec preuves humaines suffisantes pour le **mélanome cutané et le mélanome oculaire** (en particulier de la choroïde et des corps ciliaires).
- Niveau de preuve suffisant pour que le **mélanome oculaire du soudeur** soit de niveau 1 (2009).  
**Nécessité de le déclarer en MP hors tableau.**

# Actions des UV sur la santé (5)

## Inégalités génétiques majeures

- Xeroderma Pigmentosum (enfants "lune")
- Albinos phototype  $\emptyset$
- Vitiligo
- Phototypes I à VI

De l'absence totale de réparation (XP) des lésions génétiques créées par les UV jusqu'à une protection « presque » absolue (phototype VI).

# Actions des UV sur la santé (6)

## Effets sur l'œil (1)

- **Kératoconjunctivite actinique UV** = (coup d'arc)
  - ◆ Douleur, rougeur, larmoiement
  - ◆ Photophobie et sensation de grains de sable dans les yeux
  - ◆ Symptômes retardés de quelques heures / exposition
- **Perte d'élasticité du cristallin** et apparition plus précoce de la presbytie
  - ◆ Gradient de 3 ans entre l'Europe du Nord et l'Equateur.

# Actions des UV sur la santé (7)

## Effets sur l'œil (2)

- **Cataracte et /ou DMLA** (en particulier si exposition solaire ++ à l'adolescence, et chez les fumeurs, car *caroténoïdes diminués*).
- **Rétinopathie solaire aiguë** : fait suite à l'observation des éclipses à l'œil nu : possible aussi avec arcs de soudage et certains microscopes opératoires (rôle conjoint de la lumière bleue).
- **Mélanome de la choroïde et/ou des corps ciliaires.** Niveau 1 CIRC pour l'usage de lampes solaires et la profession de soudeur (à l'arc) (monographie 100D, 2009).

# Synergie des UV avec d'autres expositions (1)

## ◆ Génération d'ozone

- $O_2 + \text{photons UV} \rightarrow O_3$  (ex. : arc de soudage)
- $O_2 + \text{COV} + \text{UV} \rightarrow O_3$  (ex. : périphérique par beau temps)

Phénomène majeur avec COV à triple liaison (ex. : terpènes, dont le **d-limonène**).

# Synergie des UV avec d'autres expositions (2)

## Photochimie : réactivité entre OH<sup>•</sup> et COV

Rapport de l'Académie des Sciences, n°30, 1993

Composé	Réactivité relative au méthane	Composé	Réactivité relative au méthane
<b>Méthane</b>	<b>1</b>	o-Ethyltoluène	1710
Monoxyde de carbone	18	o-Xylène	1750
Acétylène	168	Méthylisobutylcétone	1920
Ethane	44	m-Ethyltoluène	2420
Benzène	250	m-Xylène	2920
n-Butane	500	1,2,3-Triméthylbenzène	3100
Isopentane	420	Propène	5833
Méthyléthylcétone	440	1,2,4-Triméthylbenzène	4170
2-Méthylpentane	670	1,3,5-Triméthylbenzène	6190
Toluène	1346	Cis-2-Butène	6730
n-Propylbenzène	770	α-Pinène	8750
Isopropylbenzène	770	1,3-Butadiène	9670
Ethylène	1750	2-Méthyl-2-Butène	10000
n-Hexane	790	2,3-Diméthyl-2-Butène	14000
3-Méthylpentane	900	<b>D-Limonène</b>	<b>18800</b>
Ethylbenzène	1000	Méthanol	225
p-Xylène	1530	Ethanol	765
p-Ethyltoluène	1625	Formaldéhyde	2475

# Synergie des UV avec d'autres expositions (3)

- ◆ Génération de « gaz de combat »
  - COV + O<sub>2</sub> + NO<sub>x</sub> + UV → ions PAN (peroxyacélnitrate)
  - Solvants chlorés + UV → phosgène.
- ◆ UV + RI
  - Synergie supra additive avec rayonnements ionisants.
  - Synergie constatée pour le cancer baso-cellulaire cutané, chez les survivants d'Hiroshima et Nagasaki (HN), et chez les patients irradiés pour teigne du cuir chevelu.

# Synergie des UV avec d'autres expositions (4)

## ◆ Phototoxicité

- UV + HAP (y compris sous forme de vapeur) → dermites et conjonctivites phototoxiques (MP 16)  
Fréquentes lors de l'utilisation de créosotes.
- ◆ A noter : les travaux récents sur le rôle des HAP dans la mélanogenèse, invoqués par le CIRC (monographie 107) en 2013, comme mécanisme plausible de l'excès de mélanomes cutanés chez les travailleurs des PCB, ayant conduit à les classer en groupe 1.  
Vu le mécanisme invoqué, synergie probable avec les UV.

# Synergie des UV avec d'autres expositions (5)

## ◆ Photosensibilisation

Peut survenir si co-expositions à des substances ingérées, ou appliquées sur la peau ou générées par l'organisme dans des conditions pathologiques.

## ◆ Exemples de photosensibilisation

### ■ Substances ingérées

- ◆ Ex. : tétracyclines, anti-infectieux urinaires, oxacines, amiodarone ..., certains aliments (céleri, **figue, anis, fenouil** ...).

# Synergie des UV avec d'autres expositions (6)

## ◆ Exemples de photosensibilisation (suite)

- Substances appliquées sur la peau
  - Ex. : certaines plantes contenant des furocoumarines (rue, bergamote ...), lactones sesquiterpéniques (chrysanthème, arnica ...), frullania (mousse de l'écorce de chêne). **MP 65**
  - Ex. : certains médicaments (phénothiazine ...) ou parfums (musk ambrette ...).
  - La plupart des filtres solaires organiques.
  - Certains produits professionnels.
- Substances photosensibilisantes générées par l'organisme dans des conditions pathologiques (porphyries, pellagre...).

# Synergie des UV avec d'autres expositions (7)

- ◆ Exemple de photosensibilisants du monde professionnel (**liste non limitative**)
  - Peroxyde de dibenzoyl (polyesters ...)
  - MDA (époxy, plasturgie)
  - Métaux : Cd, Cr, Ni, Co
  - Anthraquinones (colorants textiles et capillaires)
  - Composés en « para » PABA, PPD, ....
  - HAP divers
  - Dinitrotoluènes
  - Formaldéhyde
  - Divers pesticides (glyphosate, hexachlorophène, ...)
  - Divers constituants des huiles de coupe (éthylènediamine, parfums, colorants, bryozoaires, métaux dissous ...)
  - Biocides.

# Synergie des UV avec d'autres expositions (8)

- ◆ Classement en groupe 2B par le CIRC (monographie 109, 2013) du traitement par l'hydrochlorothiazide seul ou associé au triamtérene au vu de l'association entre excès de cancers épidermoïdes cutanés et prise de ces traitements. Mécanisme invoqué : augmentation des photoproduits de l'ADN (dimères cyclobutane – pyrimidine) chez ces patients.

# Synergie des UV avec d'autres expositions (9)

- ◆ Danger majeur de la répétition des séquences itératives temporo-spatiales de type : contact cutané avec promoteur de cancérogénèse cutanée – exposition UV
  - TPA (ester de phorbol\*) en laboratoire de recherche de cancérologie cutanée expérimentale.
  - Ninhydrine en labo. de recherche sur les protéines (révélateur liaison peptidique) ou en labo. de police scientifique (révélateur d'empreintes digitales).

\* *Isolé à partir des plantes du genre euphorbe.*

## A RETENIR

- ① Le verre transparent **ne filtre habituellement pas les UV** (*les rideaux jaunissent derrière les carreaux*)
- ② Le plastique transparent **filtre généralement de façon importante les UV A et B** (*un tableau de bord ne vieillit pas derrière un pare-brise feuilleté*)
- ③ Avoir un verre teinté ne signifie pas nécessairement protection UV.

# Lunettes de sécurité en polycarbonate



Lux Optical

Lunettes de sécurité  
Safety Glasses  
Arbeitsschutzbrille  
Gafas de seguridad



EN 166

VISILUX  
60401  
3 435241 604019

# Mesures d'UVA au radiamètre UV



capteur « nu »



verre teinté



verre transparent

Les UVA mesurés proviennent de la lumière solaire derrière un double vitrage ordinaire de fenêtre.

# 2 types de tubes halogène

Modèle standard



- Lampadaire halogène avec grillage anti-explosion de tube.
- Pas de protection contre les UV émis par les tubes halogènes.

Modèle à filtre UV incorporé dans le quartz



- Lampadaire halogène avec gouttière transparente anti-UV et anti-explosion de tube.



Exemple de lampes halogènes vendues en 2013, dont l'une intègre un filtre ultraviolet dans le quartz constitutif du tube.

# Lumière bleue

## Anses 2010 (1)

Toxicité particulière des  $\lambda$  de 390 à 440 nm (bleues) pour la rétine par création d'ERO (espèces réactives de l'oxygène), lors de la conversion de la source lumineuse en énergie électrique.

Lumière bleue très présente dans la lumière des arcs, mais aussi dans l'éclairage LED (si technologie utilisant une LED bleue couplée avec un photophore jaune pour émettre une lumière « blanche »).

# Lumière bleue

## Anses 2010 (2)

### Faire attention

- ◆ Pour certaines professions :
  - Installateurs éclairagistes
  - Métiers du spectacle.
- ◆ Pour certaines personnes :
  - Aphakes (sans cristallin)\*
  - Avec cristallin artificiel
  - Enfants (cristallin immature)
  - DMLA
  - Patients usant de substances photo-sensibilisantes (dont médicaments).

\* *Y penser systématiquement pour les personnes atteintes du syndrome de Marfan.*

# Lumière bleue (3)

- ◆ Action **bénéfique** sur la vigilance nocturne du conducteur. *CNRS : Université Bordeaux Segalen, 2012*
  - Vraisemblablement par action sur la mélatonine
  - À suivre .... avant utilisation en conseil de prévention.
- ◆ Mais action **négative** sur l'humeur au contraire de la lumière rouge. *Journal of Neuroscience 2013*

# Lumière visible

- ◆ Indispensable à la vie (photosynthèse, production d'oxygène, élément indispensable de la chaîne alimentaire)
  - effet bénéfique sur l'humeur
  - effet synchronisateur du cycle nyctéméral
- ◆ Effet protecteur des réflexes palpébral et pupillaire.



# Infrarouges (1)

- ◆ Effets essentiellement thermiques
  - ◆ Ils ne sont pas mutagènes
  - ◆ Sont invisibles, donc pas de réflexe palpébral ni pupillaire
- 

# Infrarouges (2)

## Effets sur l'œil

- ◆ Cornée / humeur aqueuse
- ◆ Cristallin (MP 71)
- ◆ Rétine

IR C ± IR B

IR B ± IR A

IR A

# Infrarouges (3)

## Effets sur la peau

- ◆ De l'échauffement jusque la brûlure
- ◆ Vasodilatation
- ◆ En cas de stase veineuse, augmentation du risque de brûlure
- ◆ Les IR courts pénètrent d'environ 1 cm
- ◆ Les IR longs pénètrent d'environ 1 mm



# Infrarouges (4)

## Effets sur le corps

(si échauffement prolongé d'une grande surface cutanée)

- ◆ Hyperthermie
- ◆ Déshydratation, troubles ioniques ...

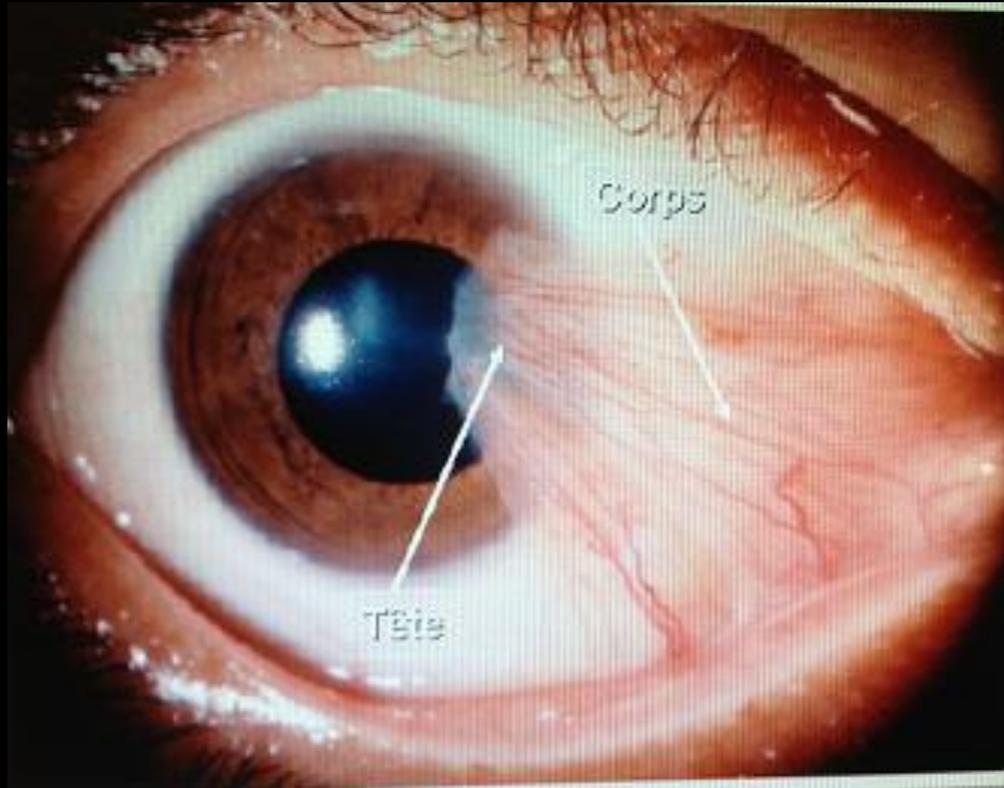
# Infrarouges (5)

## Co-exposition I R (B et C) et poussières

- ◆ Ptérygion (**MP 71 bis**) : repli de la conjonctive débutant au canthus interne (côté nez), pouvant à terme envahir la cornée et générer un astigmatisme secondaire.
- ◆ Possibilité de pinguécula (rôle conjoint des UV solaires possible) : surélévation jaunâtre (d'importance uniquement esthétique) de la conjonctive.

# Photo de Ptérygion

Côté temporal



Côté nasal

Docteur Chatel



# L A S E R

LIGHT

AMPLIFICATION by

STIMULATED

EMISSION of

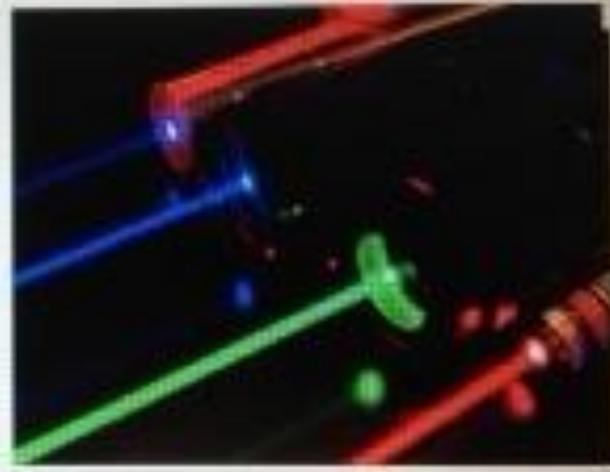
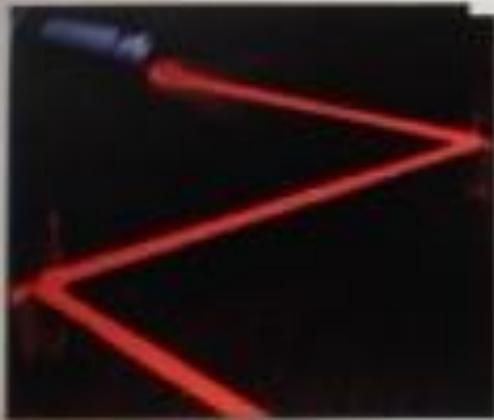
RADIATION



# Laser (1)

- ◆ Invention française : Alfred Kasler
- ◆ Le terme laser désigne à la fois :
  - l'appareil qui amplifie la lumière et la rassemble en un faisceau **étroit**, **monochromatique** (une seule longueur d'onde) où ondes et photons associés se propagent **en accord de phase**. La lumière ainsi formée est dite « **cohérente** ».
  - le faisceau lui-même.

Cohérents = LASER



# Laser (2)

- ◆ Les appareils lasers produisent habituellement une  $\lambda$  par type d'appareil
- ◆ Possibilité (récente) de dispositifs lasers « accordables » capable de générer, suivant réglage, différentes  $\lambda$
- ◆ Le faisceau laser peut, dans le cadre des ROA, se situer dans l'UV, le visible, l'IR
- ◆ Mais il y a des lasers à microondes « MASER »
- ◆ Et même à rayons gamma (*Nature photonics*, mai 2012).

# Laser (3)

- ◆ L'émission d'un laser peut se faire sur un mode continu (mode **D**), ou sur un mode impulsionnel (impulsions de durées diverses)
  - de quelques ms à qq  $\mu$ s ▶ laser relaxé (mode **I**)
  - de quelques ns ▶ laser déclenché (mode **R**)
  - de quelques ps à qq fs ▶ laser à modes bloqués (mode **M**)

# Laser (4)

- ◆ Un faisceau laser, visible ou non, se réfléchit
  - Réflexion spéculaire
  - Réflexion diffuse

suivant l'angle d'incidence et l'état de surface de la cible (dont présence de poussières)

- ◆ Rayonnement secondaire : rayonnement incohérent (multichromatique), d'interaction avec la cible, dont l'étendue du spectre peut comprendre les UV et même les rayons X. Ce rayonnement est à prendre en considération pour les lasers de classe 4 (voire 3B)

# Laser (5)

- ◆ Nécessité, pour apprécier la dangerosité d'un laser, de connaître **à la fois** :
  - **Et** la longueur d'onde
  - **Et** le diamètre du faisceau et sa divergence
  - **Et** la puissance (si mode D) en W  
**Ou** la densité d'énergie par impulsion (si mode I, R ou M) en J

# Laser (6)

- ◆ **Limites données par la norme NF EN60825 (1)**
  - **EMP (expositions maximales permises) :**  
Elles sont basées sur la réception par la peau ou l'œil d'une partie de l'émission (ou de la réflexion) d'un laser.
  - Elles sont calculées en fonction de  $\lambda$ , du temps d'exposition (ou de la durée d'impulsion) pour la peau. De plus, pour l'œil, la dimension de l'image rétinienne intervient. → **il y a donc, pour un même laser une EMP peau et une EMP œil.**  
Nécessité d'une démarche ALARA pour optimiser l'exposition y compris lors des réglages ou de la maintenance.

# Laser (7)

## ◆ Limites données par la norme NF EN60825 (2)

- LEA (limites d'émissions accessibles) :  
elles sont basées sur les caractéristiques de puissance (si mode continu) ou d'énergie (si mode impulsionnel) émises par le laser et accessibles à l'utilisateur.
- ZNRO Zone nominale de risque oculaire.
- DNRO Distance nominale de risque oculaire.

Nota : Pour les lasers de classe 4, le respect des DNRO et ZNRO données par le fabricant permettent à l'utilisateur de se retrouver dans la définition de la classe 1.

# Laser (8)

## Classification des lasers. Norme EN60825-1

Attention : la classe du laser dépend, outre la  $\lambda$ , de la puissance ou de l'énergie par impulsion

Organe Classe de laser	Œil avec app. optique	Œil vision directe du faisceau ou d'1 réflexion spéculaire	Œil réflexion diffuse	Œil rayonn. secondaire	peau	incendie
1 180 nm à 1 mm	∅	∅	∅	∅	∅	∅
1 M 302 à 4000 nm	Danger potentiel	∅	∅	∅	∅	∅
2 400 à 700 nm	Pas de danger si réflexe palpébral fonctionnel	Pas de danger si réflexe palpébral fonctionnel	∅	∅	∅	∅
2 M 400 à 700 nm	Danger potentiel	Pas de danger si réflexe palpébral fonctionnel	∅	∅	∅	∅
3 R 302 nm à 1 mm	 ++	 +	∅	∅	∅	∅
3 B 400 nm à 1 mm	 ++	 ++	 *	∅	 +	∅
4	 ++	 ++	 ++	 ++	 ++	 ++

\* Nota important : pour le laser 3B la réflexion diffuse sur l'œil est sans danger seulement si temps < à 10 s. et distance œil-écran > 13 cm.

## 4 sortes d'effets sur le vivant possible

- Effets thermiques
- Photolyse moléculaire
- Onde de choc (vaporisation explosive ou création d'un plasma)
- Photo-ablation (effet bistouri)

# Effets sur l'œil

- ◆ Brûlures et lésions irréversibles de la rétine (visible ou IR proche)
  - ◆ Irritation et inflammation de la conjonctive
  - ◆ Inflammation de la cornée, voire graves brûlures (lasers UV, IR)
  - ◆ Cataracte possible si exposition prolongée et/ou répétée
  - ◆ Hémorragies du vitré
- ⇒ Bilan ophtalmologique à faire à l'embauche (état antérieur), puis si symptômes oculaires ressentis ou accident.

# Effets sur la peau

- Depuis la sensation de chaleur jusqu'à la brûlure grave.

# Effets divers liés à l'interaction rayonnement/ matière

- ◆ Risques chimiques (pyrosynthèse, pyrolyse, combustion, plasma ...)
- ◆ Risques physiques : rayonnement secondaire des lasers de classe 4, y compris dans les domaines UV et gamma.
- ◆ Incendie (y compris des gants et habits !).



## Nécessité

- ◆ D'une protection collective \*
- ◆ étudiée et entretenue
- ◆ D'une formation avant utilisation
- ◆ D'EPI adaptés

\* Nécessité d'un éclairage global **important** du local où est situé le laser pour maintenir un diamètre pupillaire étroit minimisant les conséquences pour l'œil de la pénétration éventuelle d'un faisceau laser.

# Flash info



- ◆ Il n'y a pas de lunettes anti laser universelle.

Nécessité de connaître  $\lambda$ , puissance ou densité d'énergie par impulsion, et le mode d'émission.

2 types de lunette, à finalité différente

**S** = Sécurité  $\neq$  **R** = Réglage

- ◆ Se méfier des cristaux doubleurs de fréquence