



# Sécurité LASER au LAAS-CNRS

*C. Vergnenègre, service 2i*

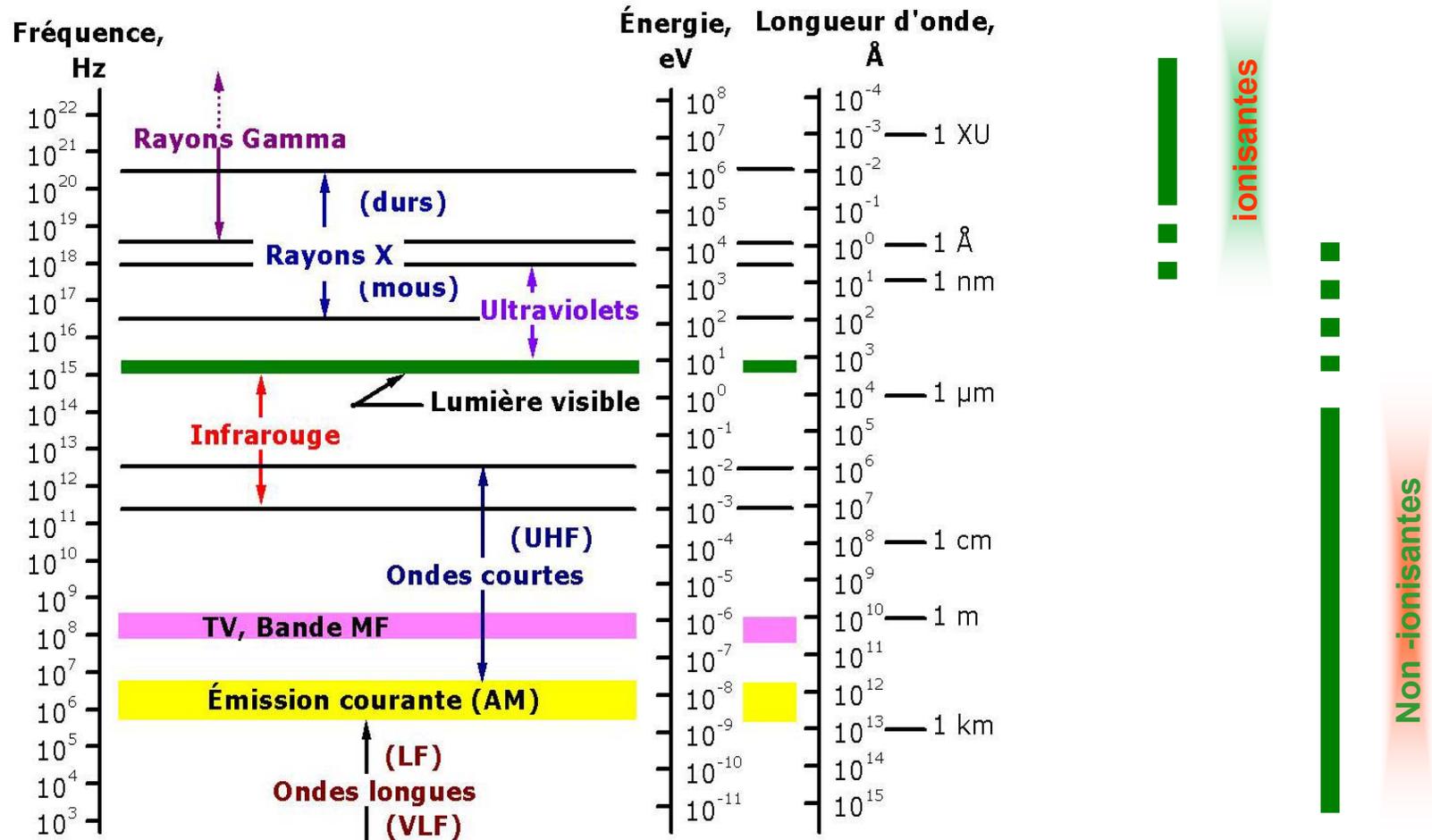
*3 Mai 2005*

# Plan de l'exposé

---

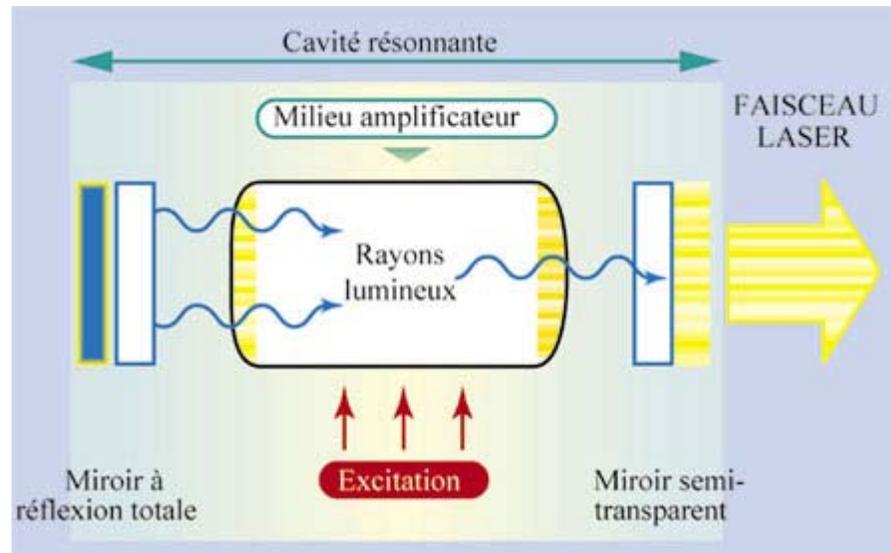
1. Généralités sur les LASER
2. Statistiques et exemples d'accident
3. Risques, effets cutanés et oculaires
4. Autres risques
5. Réglementation et classes Laser
6. Prévention et consignes de sécurité

# Le rayonnement électromagnétique



# Principe de fonctionnement

1 - un matériau solide, liquide ou gazeux  
'MILIEU AMPLIFICATEUR'



Faisceau LASER :

- cohérent
- monochromatique
- très peu divergent

2 - un dispositif exciteur  
'EXCITATION'

3 - une structure électromagnétique  
'CAVITE'

# Types de LASER

TYPE DE LASER	MILIEU LASER	PARTICULES EXCITABLES	COULEUR
Diodes laser	Semi-conducteur	Électrons-trous	Rouge-infrarouge
Laser hélium-néon	Gaz hélium-néon	Atomes de néon	Rouge
Laser à rubis	Rubis (solide)	Ions chrome	Rouge
Laser argon	Gaz d'argon	Ions argon	Bleu, vert et invisible (ultraviolet)
Laser krypton	Gaz de krypton	Ions krypton	Rouge
Laser à excimères	Mélange de gaz rare et d'halogène. Les plus courants sont les mélanges de xénon et de chlore ou de krypton et de fluor.	Groupement de deux atomes	Invisible (ultraviolet)
Laser à vapeur de cuivre	Vapeur de cuivre	Atomes de cuivre (deux niveaux d'excitation)	Vert et jaune
Laser CO <sub>2</sub>	Mélange gazeux constitué d'azote, d'hélium et de dioxyde de carbone* (CO <sub>2</sub> )	Molécules de CO <sub>2</sub>	Invisible (infrarouge)
Laser Nd-YAG**	Grenat d'aluminium et yttrium (YAG) dopé au néodyme (Nd)	Ions néodyme	Invisible (infrarouge)
Laser verre-néodyme	Verre dopé au néodyme (solide)	Ions néodyme	Invisible (infrarouge)
Laser à colorant	Colorant dans un solvant	Molécules de colorant	Différentes plages de couleurs en fonction du colorant

\* Le dioxyde de carbone est plus connu sous le nom de gaz carbonique.  
 \*\* YAG: Yttrium Aluminium Garnet.

# Les Lasers au laboratoire



He-Ne 633nm, 5mW

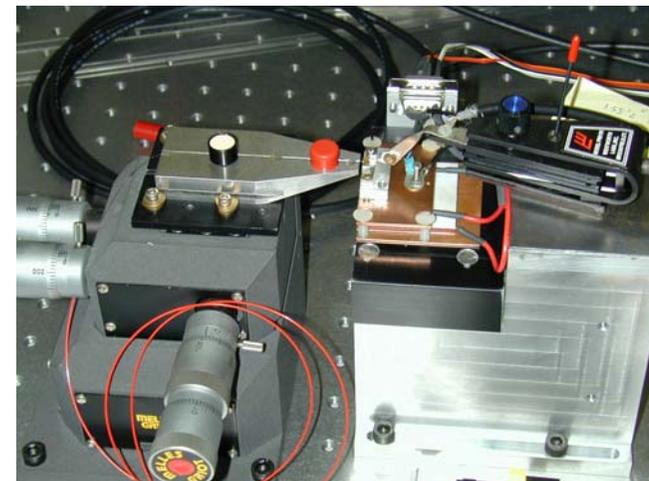
Classe 3



UV 405nm, 45mW

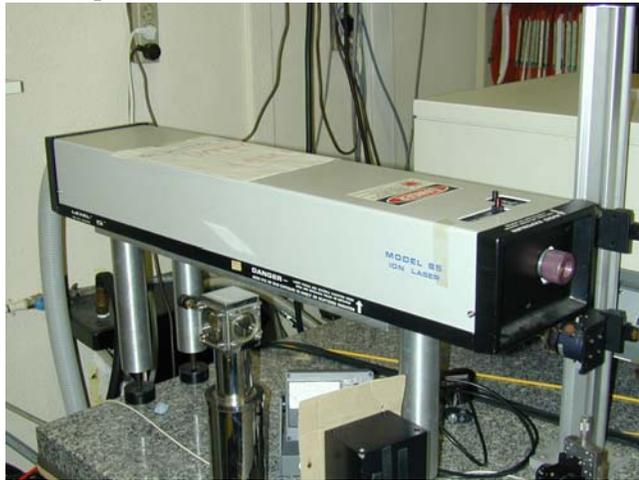


DL lentillée 808nm



DL fibrée 1.3 $\mu$ m

# Les Lasers au laboratoire



Argon, 1W

## Classe 4

Argon, 7W

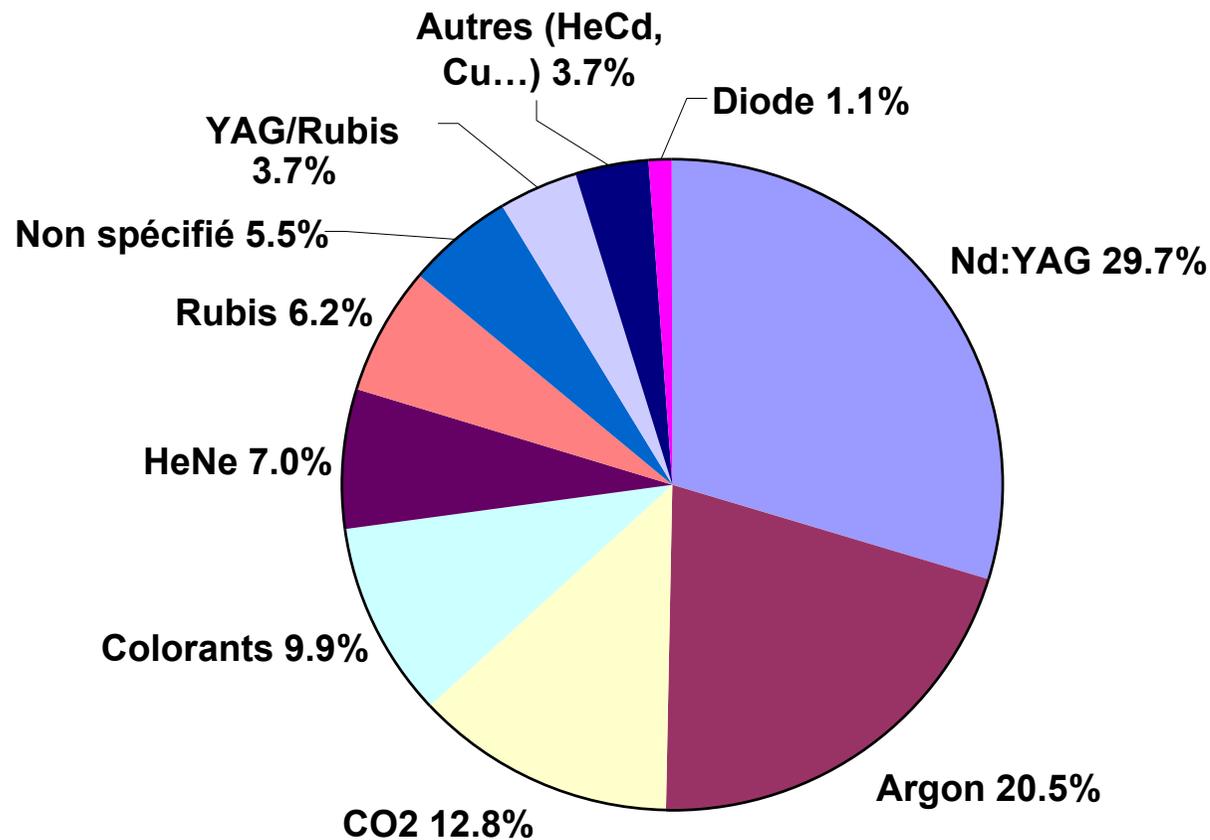


Titane:Saphir



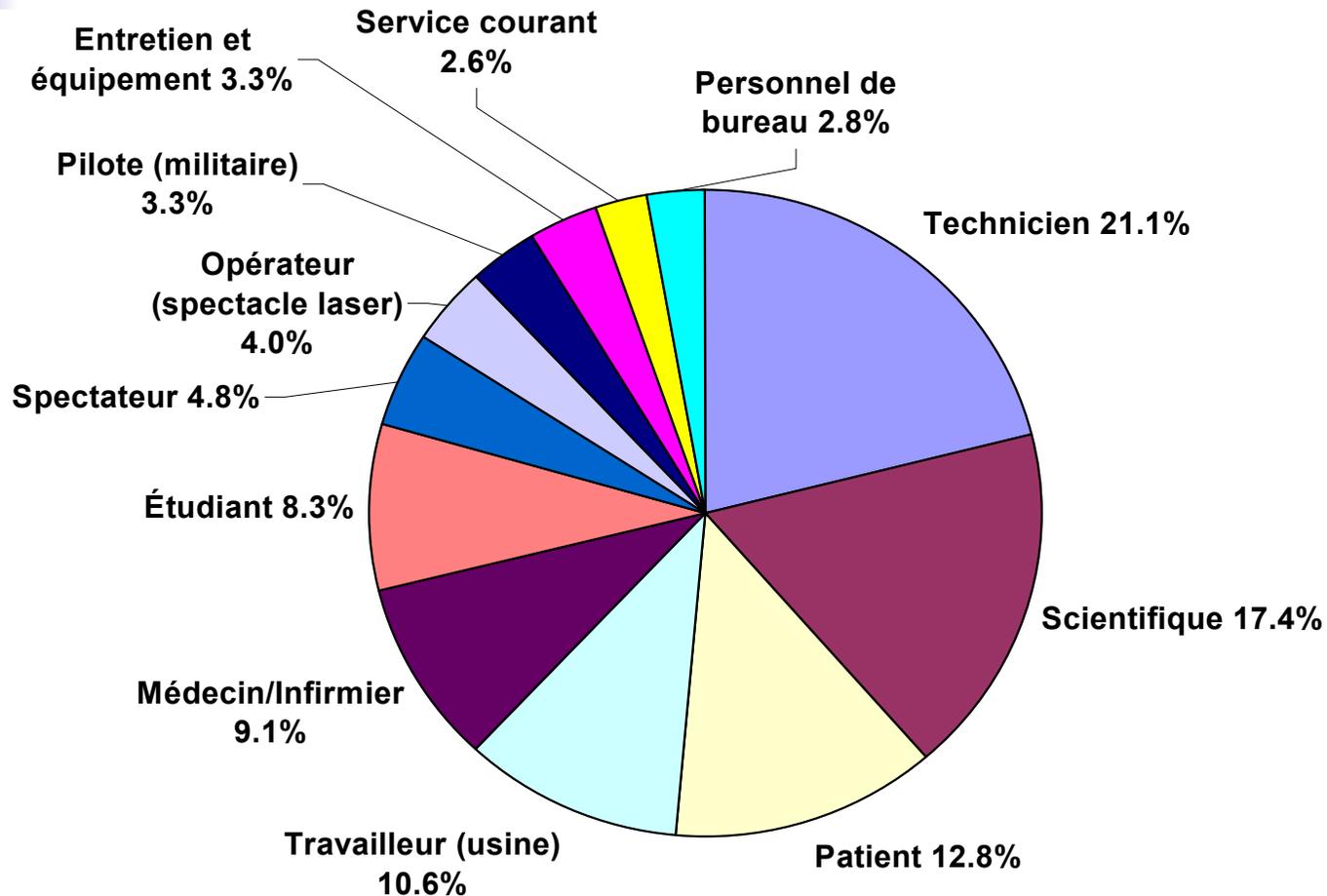
mais aussi certaines diodes laser : fonction de  $\lambda$ , et P

# Statistiques d'accident : LASER



Source: [www.rli.com](http://www.rli.com) (Rockwell Laser Industries, Inc.)  
14 mai 2004

# Statistiques d'accident : victimes

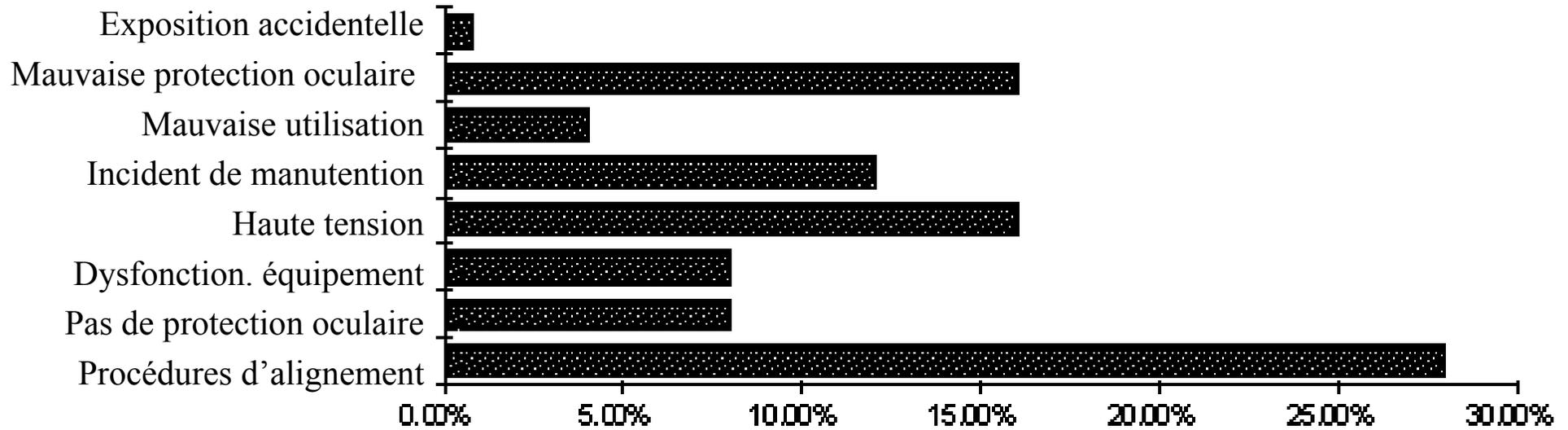


Source: [www.rli.com](http://www.rli.com) (Rockwell Laser Industries, Inc.)  
14 mai 2004

# Principales causes des accidents

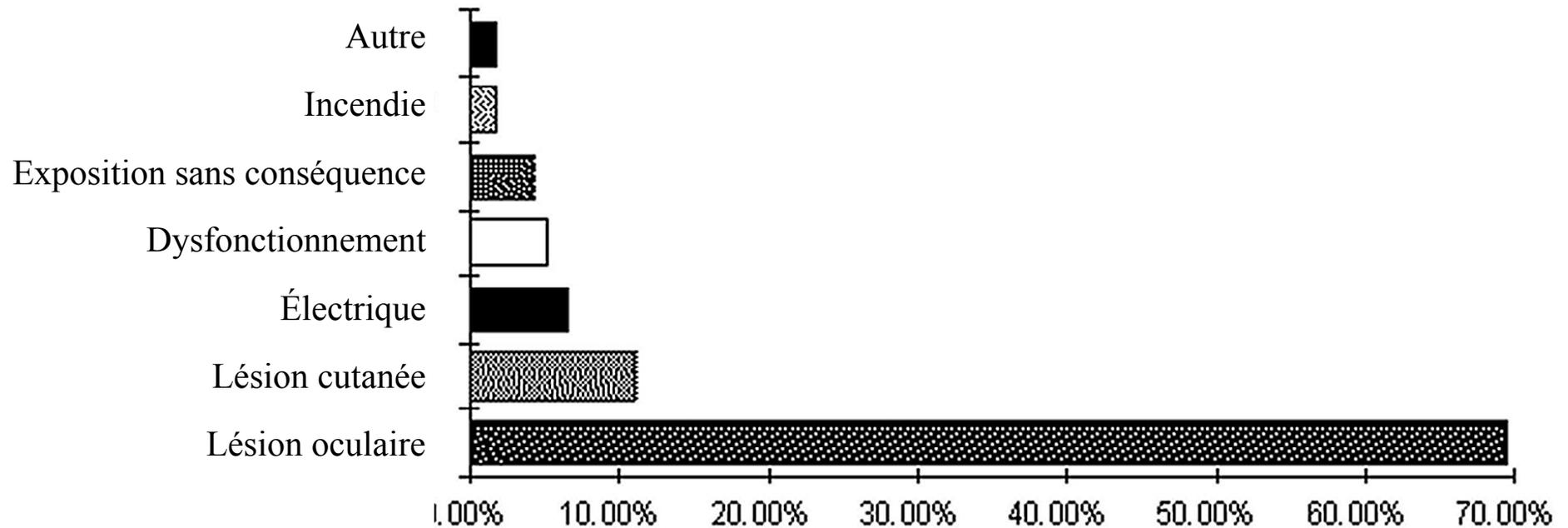
- [Redacted]
- lors d'un mauvais fonctionnement d'un appareil
- Protection oculaire peu utilisée
- [Redacted]
- Mauvais confinement du faisceau
- Précautions insuffisantes lors de la manipulation de hauts voltages

# Principales causes des accidents



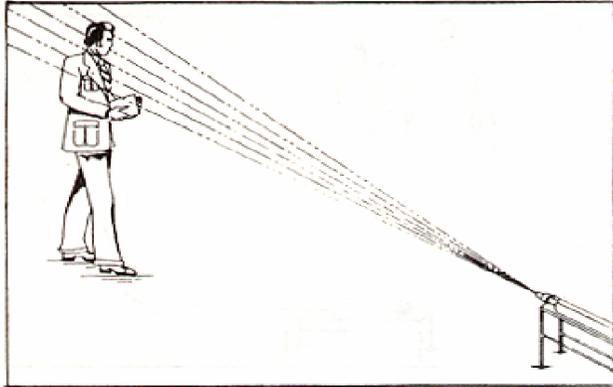
Causes des accidents déclarés impliquant des lasers  
de 1964 à 1992 aux États-Unis

# Statistiques : dommages

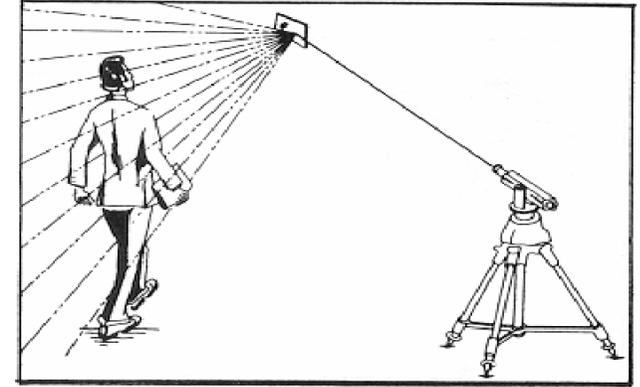
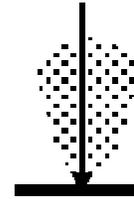


Dommages suite aux accidents déclarés impliquant des lasers  
de 1964 à 1992 aux États-Unis

# Types d'exposition



**Exposition directe**



**Réflexion diffuse**



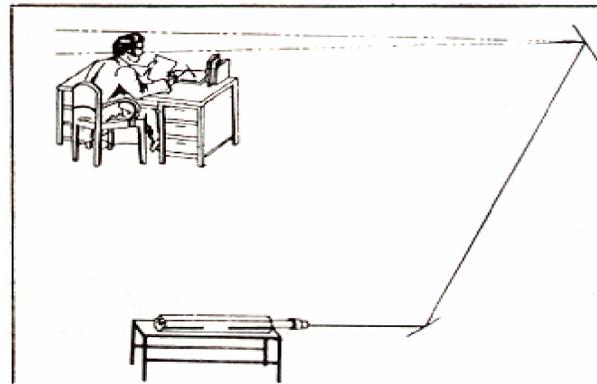
**surface concave**



**surface convexe**



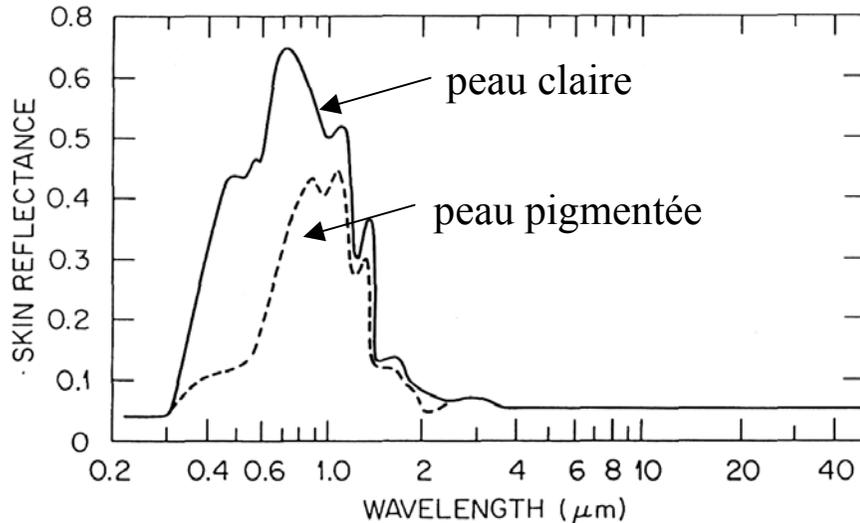
**surface plate**



**Réflexion spéculaire**

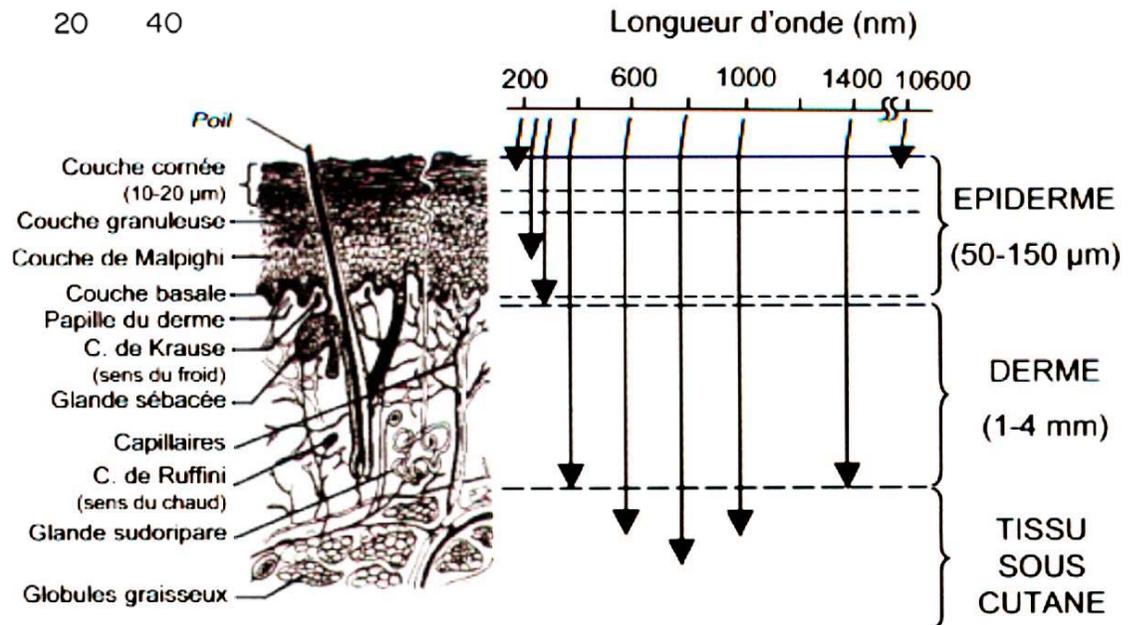
Jusqu'à 90% de l'énergie incidente dans le cas d'une exposition directe...

# Absorption des rayonnements optiques par la peau



Seuil érythème UVA 10 x plus faible pour une peau claire que pour une peau foncée

- Tissu peu vascularisé plus sensible au faisceau
- Effet cumulatif des doses (UV)



# Lésions cutanées : les effets

Thermiques



- Erythème
- Phlyctène
- Carbonisation supérieure

Visible, IR

Photochimiques



- Erythème
- Kératose
- Allergie cutanée
- Mélanome ?

UV

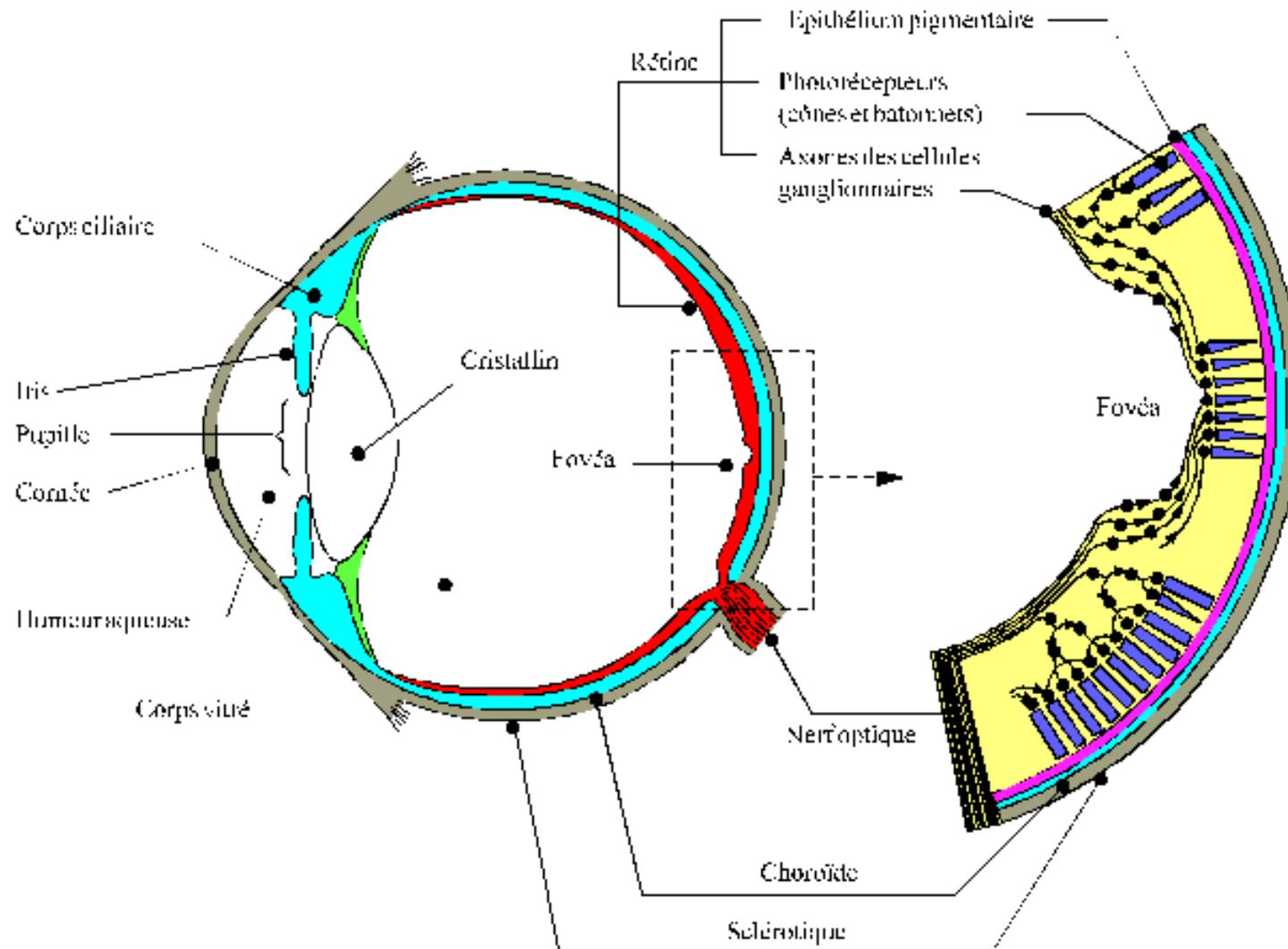
Photoablatifs



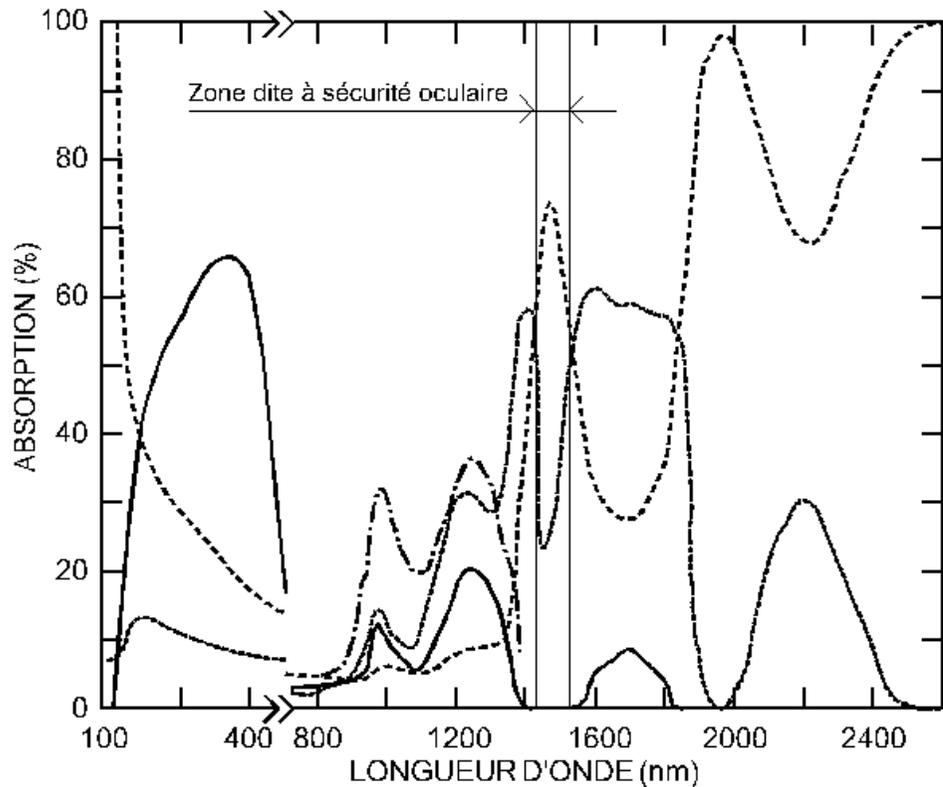
- Désorption de la surface des tissus
- Rupture des liaisons moléculaires

UV < 360nm

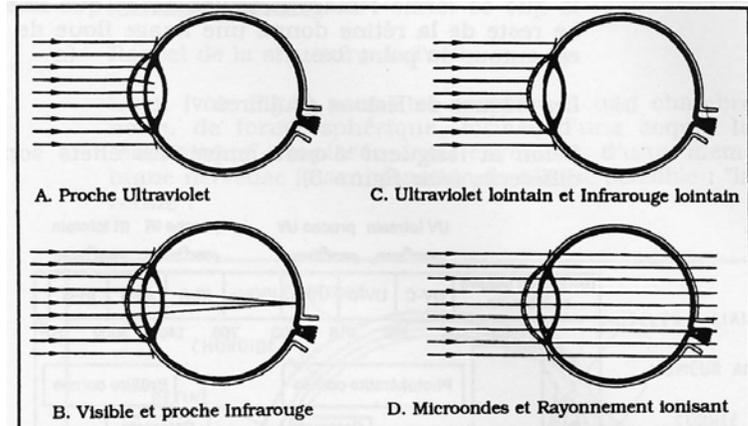
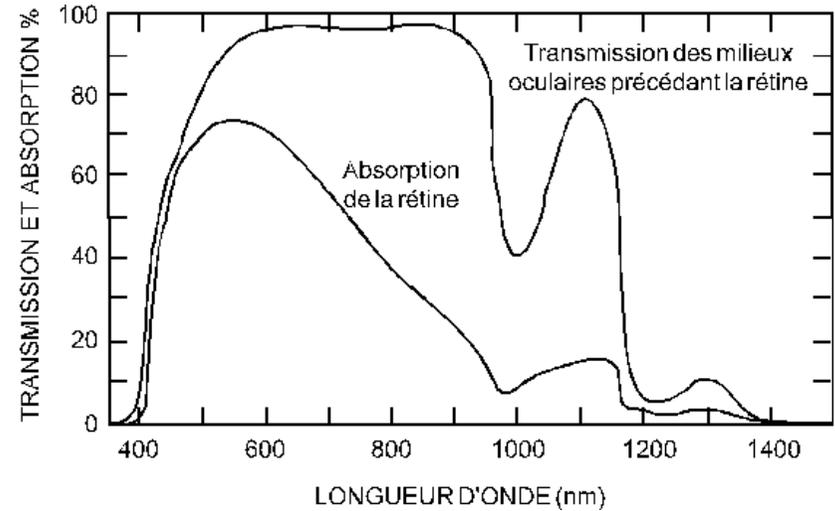
# Absorption des rayonnements optiques par l'œil



# Absorption des rayonnements optiques par l'œil



- Au niveau de la cornée,
- - - - - de l'humeur aqueuse,
- du cristallin,
- - · - · et du vitré



# Lésions oculaires dans l'ultraviolet (1/2) :

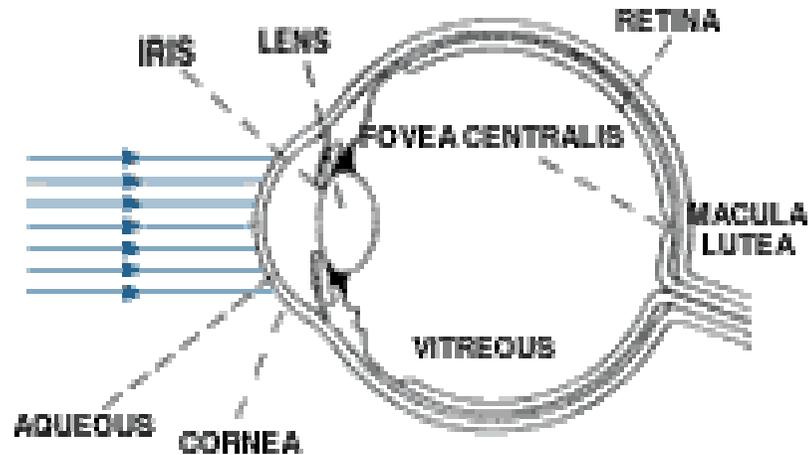
## UV B et C (170 à 315nm)

### • Champs faibles :

- Conjonctivite
- Photokératite de la cornée

- Rougeur
- Douleur, larmoiement
- Photophobie
- Blépharospasmes
- Voile épithélial

Réparation  
24 – 48h



### • Champs élevés :

- Aspect laiteux
- Perte de transparence

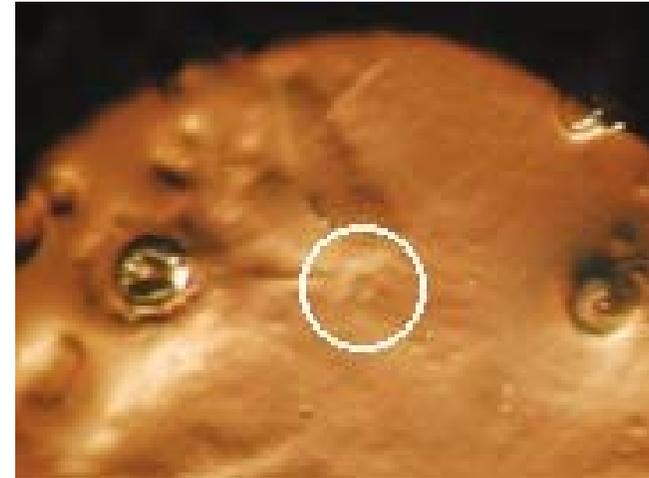
Cicatrice opaque

→ Greffe ?

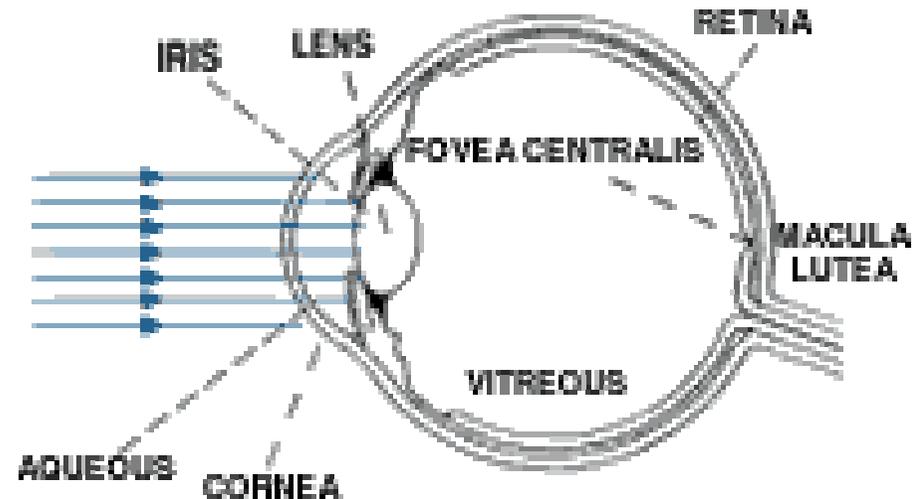
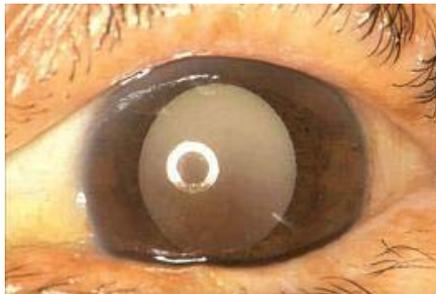
# Lésions oculaires dans l'ultraviolet (2/2)

## UV A (315 à 400nm)

- photokératite cornée
- à long terme : cataracte



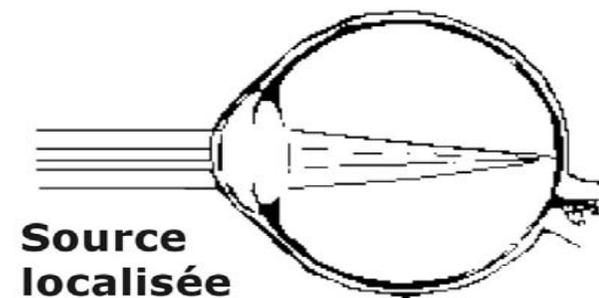
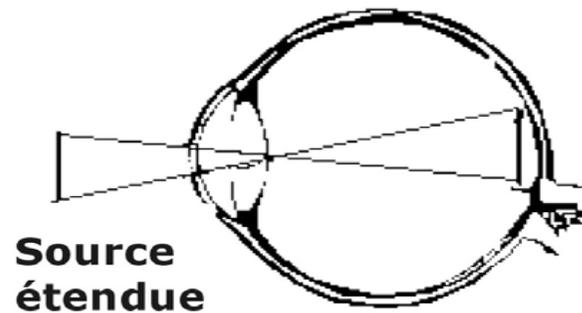
Source : CEA



# Lésions oculaires dans le visible et proche IR : atteintes de la rétine

Origine du danger : phénomène de **focalisation sur la rétine**...

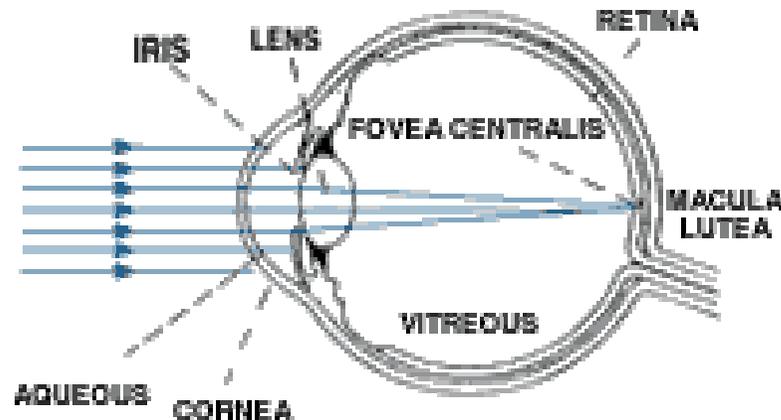
... fonction de la taille de la souce:



# Lésions oculaires dans le visible et proche IR

Dommmages variables dépendant où le faisceau focalise

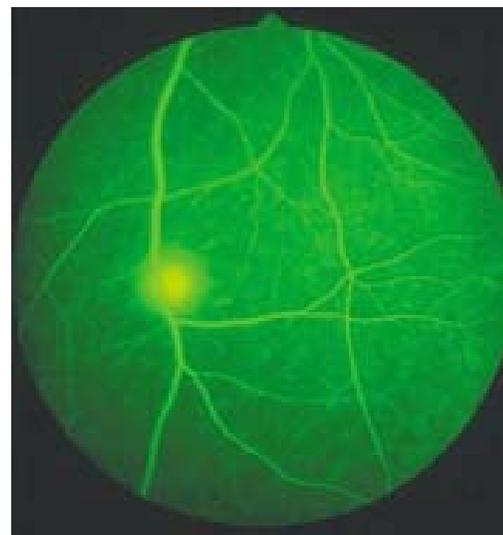
- Hors de la macula: pas de problème
- Dans la macula, en périphérie: tache noire
- Dans la fovéa: **perte quasi totale** de l'acuité visuelle!!!



# Lésions oculaires dans le visible et proche IR

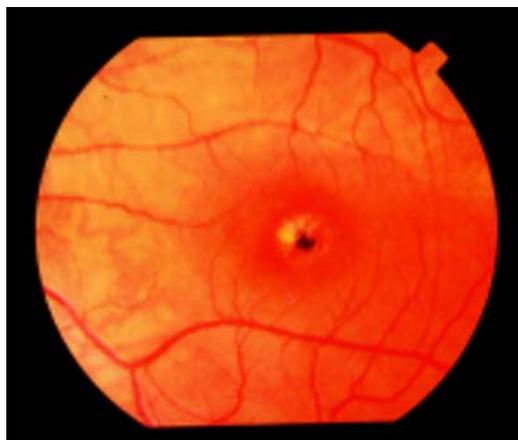


*Figure 7. Multiple small laser burns with minimal hemorrhage.*

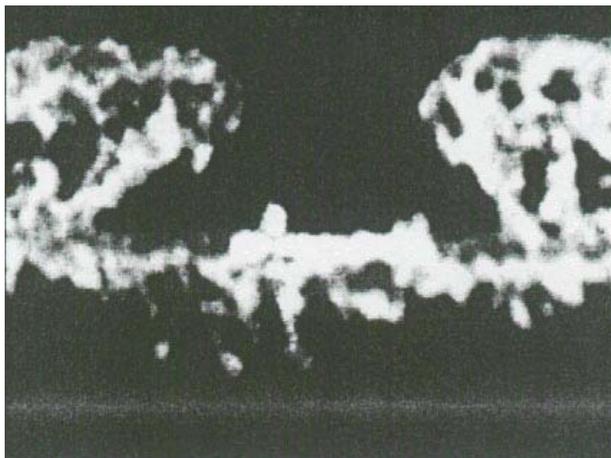


Visualisation de l'impact laser par la technique d'angiographie.

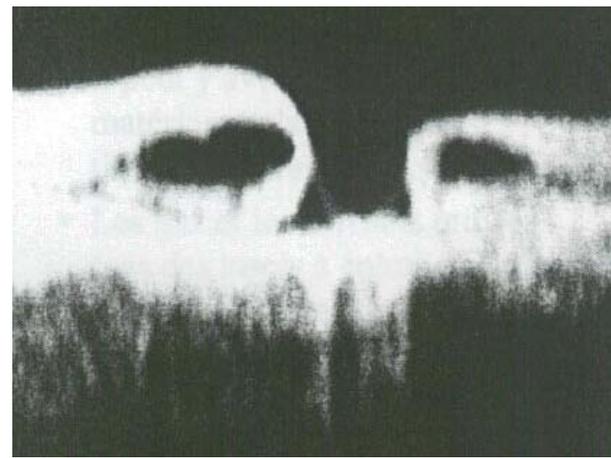
Source: CEA



# Lésions oculaires : sections de la rétine



Décollement de la rétine



Perforation de la rétine  
associée à un laser

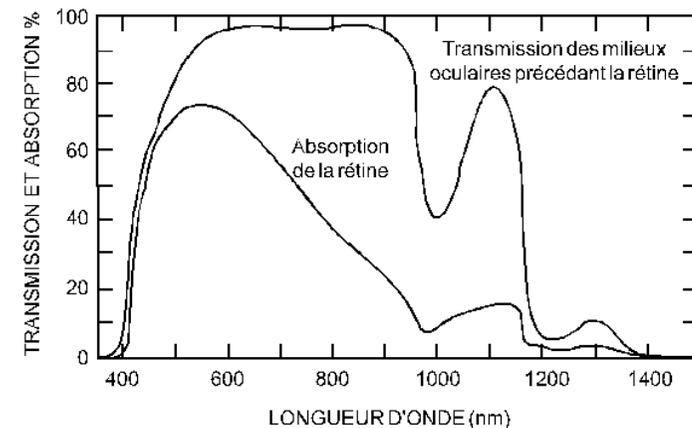
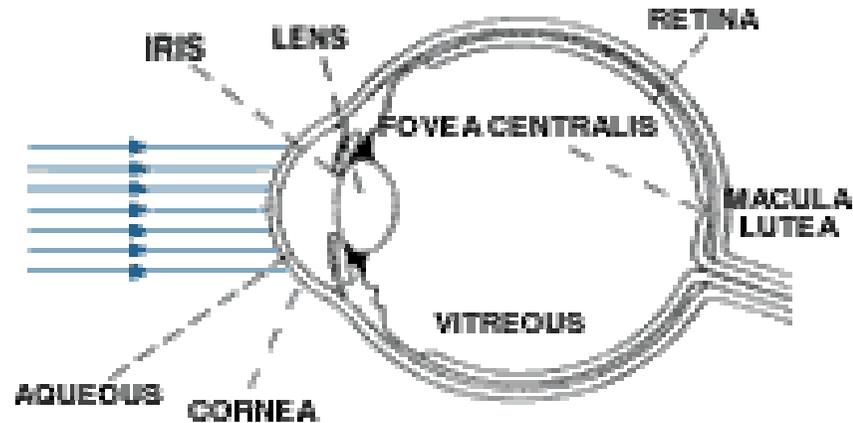
# Lésions oculaires dans l'IR lointain (1.4 à 3 $\mu$ m)

- photokératite cornée
- à long terme : cataracte

## Lasers à sécurité oculaire :

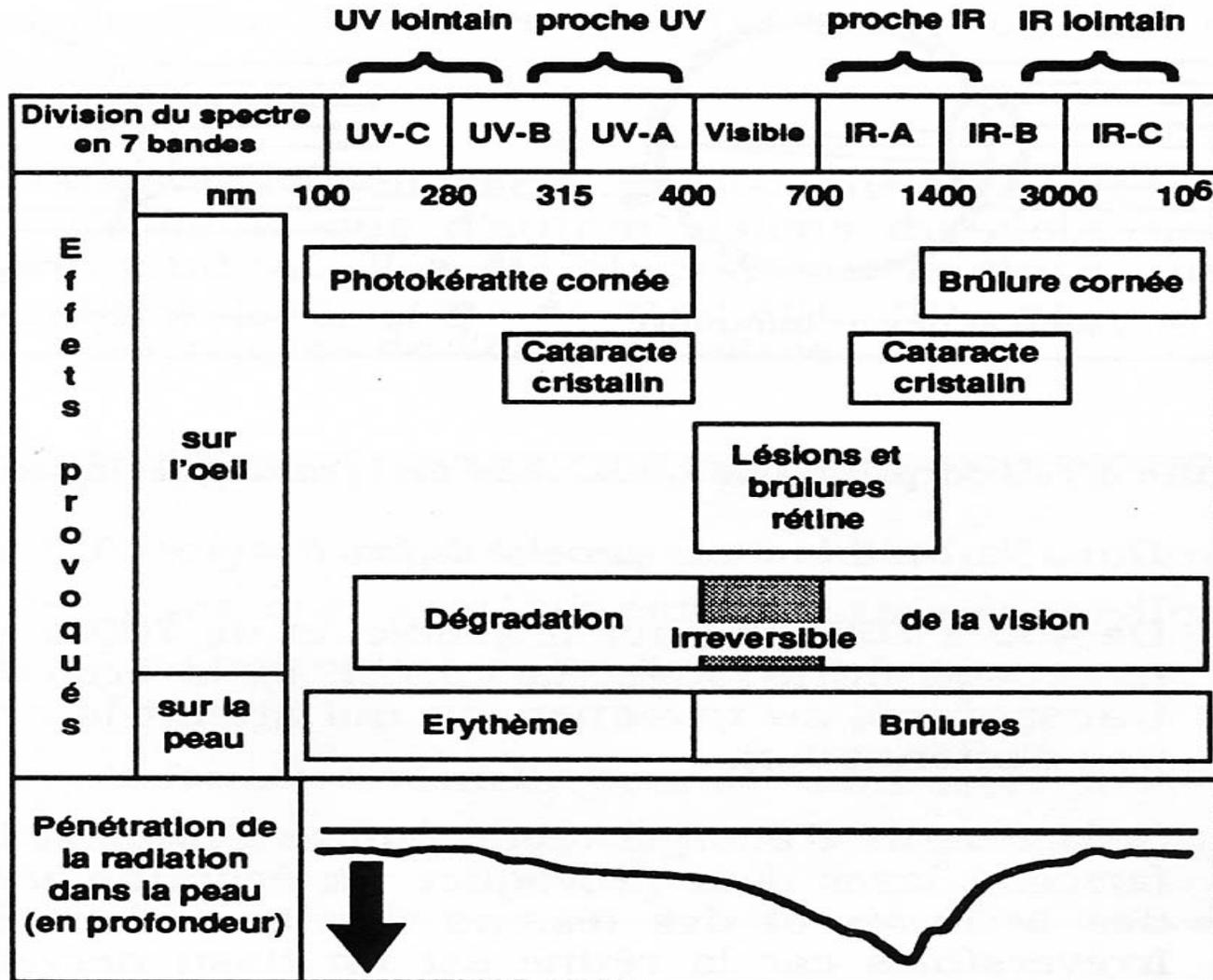
pour  $\lambda \in [1.5 - 1.55]\mu\text{m}$

- absorption cristallin : 0%
- absorption cornée : 70%
- absorption humeur aqueuse : 25%



- ✓ cornée : résistance ~ peau + pouvoir régénérateur important
- ✓ très peu de rayonnement atteint la rétine

# Les lésions sur l'œil : récapitulatif



# Autres risques

## Chimiques

- **O<sub>3</sub>** produit / sources UV, arc Xe
- **NO, NO<sub>2</sub>** : ionisation de l'air traversé / rayonnement
- **ZnSe et GaAs** : destruction d'optiques ou cibles / CO<sub>2</sub>
- **Poussières d'amiante ou d'oxydes** : destruction matériaux réfractaires ou absorbeurs

## Cryogéniques

Utilisation d'**azote** pour refroidissement:

- Brûlures,
- Hypoxie,
- Explosion

## Électriques

**2<sup>ème</sup> risque après risque oculaire  
→ ELECTROCUTION**

- **Haute tension** dans l'alimentation : même avec He-Ne (qqs dizaines de kV)
- **Charges résiduelles** dans certaines alim., même débranchées

## Explosion/Incendie

- Electricité statique
- **Matériaux inflammables** : qqs W/cm<sup>2</sup> suffisent (**y compris He-Ne**)

# La réglementation européenne

## Normes :

NF EN 60825-1 : Sécurité des appareils à laser

NF EN 207 : Protection individuelle de l'œil

NF EN 208 : Lunettes de protection pour réglages

→ *Dispo au laboratoire :*  
*2i, C.Vergnenègre*



## Prescriptions de fabrication

- spécifications techniques des sécurités
- étiquetage
- renseignements fournisseurs et maintenance
- classification



## Guide utilisateur

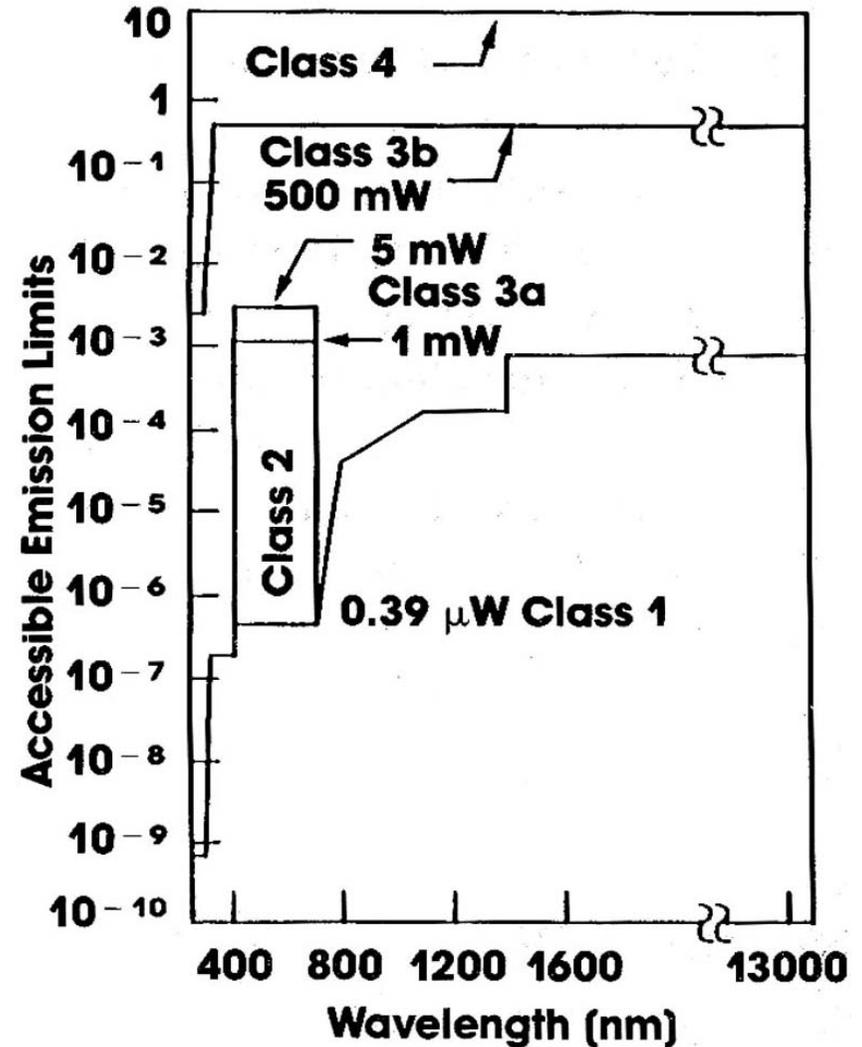
- mesures de sécurité
- risques
- procédures de contrôle des risques
- EMP, DNRO

**La responsabilité de l'utilisateur est engagée en cas de non conformité aux règles de sécurité**



# Les classes Laser

<b>CLASSE 1</b>	Lasers qui sont sans danger dans toutes les conditions d'utilisation raisonnablement prévisibles ( $180 \text{ nm} \leq \lambda \leq 10^6 \text{ nm}$ , $T_{\text{base}} = 100 \text{ s}$ ou $30\,000 \text{ s}$ ).
<b>CLASSE 1M</b>	Lasers dont la vision directe dans le faisceau, notamment à l'aide d'instruments d'optiques peut être dangereuse ( $302,5 \text{ nm} \leq \lambda \leq 4\,000 \text{ nm}$ , $T_{\text{base}} = 100 \text{ s}$ ou $30\,000 \text{ s}$ ).
<b>CLASSE 2</b>	Lasers qui émettent un rayonnement visible dans la gamme de longueurs d'onde de $400 \text{ nm}$ à $700 \text{ nm}$ . La protection de l'œil est normalement assurée par les réflexes de défense comprenant le réflexe palpébral ( $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 700 \text{ nm}$ , $T_{\text{base}} = 0,25 \text{ s}$ ).
<b>CLASSE 2M</b>	Lasers qui émettent un rayonnement visible dans la gamme de longueurs d'onde de $400 \text{ nm}$ à $700 \text{ nm}$ , dont la vision directe dans le faisceau, notamment à l'aide d'instruments d'optiques peut être dangereuse ( $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 700 \text{ nm}$ , $T_{\text{base}} = 0,25 \text{ s}$ ).
<b>CLASSE 3R</b>	Lasers dont l'exposition directe dépasse l'E.M.P pour l'œil, mais dont le niveau d'émission est limité à 5 fois la L.E.A des classes 1 et 2 ( $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 700 \text{ nm}$ , $T_{\text{base}} = 0,25 \text{ s}$ et $302,5 \text{ nm} \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}$ et $700 \text{ nm} \leq \lambda \leq 10^6 \text{ nm}$ , $T_{\text{base}} = 100 \text{ s}$ ).
<b>CLASSE 3B</b>	Lasers dont la vision directe du faisceau laser est toujours dangereuse. La vision de réflexions diffuses est normalement sans danger. Anciennes valeurs de la classe 3B moins les valeurs de la classe 3R ( $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 10^6 \text{ nm}$ , $T_{\text{base}} = 100 \text{ s}$ ).
<b>CLASSE 4</b>	Lasers qui sont aussi capables de produire des réflexions diffuses dangereuses. Ils peuvent causer des dommages sur la peau et peuvent aussi constituer un danger d'incendie. Leur utilisation requiert des précautions extrêmes.



# Les dangers suivant les classes

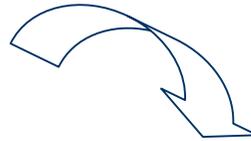
Classe :	1	2	3A	3B	4
Dangers	sans danger	sans danger (réflexe palpébral)	danger en vision directe	danger en vision directe et sous certaines conditions en réflexion diffuse	très important
ŒIL : rayons directs et réflexions spéculaires		★ ne pas regarder le faisceau	★★ ne pas regarder le faisceau, surtout à travers un instrument d'optique	★★ ne pas regarder le faisceau, surtout à travers un instrument d'optique	★★★
ŒIL : réflexions diffuses				★★	★★★
PEAU				★★ sensations de picotements ou échauffements avant lésions	★★★
INCENDIE					★★★

# Exposition Maximale Permise (EMP)

**EMP** = niveau max de rayonnement auquel une personne peut être soumise, sans dommage.



Dans tous les cas :  
Exposition au rayonnement  $<$  EMP



Fonction de : \_\_\_\_\_

- Longueur d'onde
- Durée d'impulsion/ Temps d'exposition
- Tissu exposé
- Dimension de l'image sur la rétine

- **Emission continue:** Calcul de *l'éclairement énergétique* ( $\text{W}/\text{cm}^2$ )
- **Emission pulsée :** Calcul de *l'exposition énergétique* ( $\text{J}/\text{cm}^2$ )

# Exposition Maximale Permisse (EMP)

Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Exposed Duration (s)	MPE	
		Pulsed ( $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ )	CW ( $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ )
0.180 to 0.302 * 0.302 to 0.315 *+ 0.315 to 0.400	$10^{-9}$ to $3 \times 10^4$ $10^{-9}$ to $3 \times 10^4$ $10^{-9}$ to 10	$3 \times 10^{-3}$ $0.63 \times (\lambda/0.314)^{1.42}$ $0.56 \times t^{0.25}$	$3 \times 10^{-3} \times T_{\text{max}}^{-1}$ $0.63 \times (\lambda/0.314)^{1.42} \times T_{\text{max}}^{-1}$ $0.56 \times T_{\text{max}}^{-0.75}$
0.4000 to 1.050	$10^{-13}$ to $10^{-11}$ $10^{-11}$ to $10^{-9}$ $10^{-9}$ to $18 \times 10^{-6}$ $18 \times 10^{-6}$ to 10 0.25 10	$1.5 \times C_A \times 10^{-8}$ $2.7 \times C_A \times t^{0.75}$ $0.5 \times C_A \times 10^{-6}$ $1.8 \times C_A \times t^{0.75} \times 10^{-3}$ $0.64 \times C_A \times 10^{-3}$ $10 \times C_A \times 10^{-3}$	$1.8 \times C_A \times T_{\text{max}}^{-0.25} \times 10^{-3}$ $2.6 \times C_A \times 10^{-3}$ $1.0 \times C_A \times 10^{-3}$
1.050 to 1.400	$10^{-13}$ to $10^{-11}$ $10^{-11}$ to $10^{-9}$ $10^{-9}$ to $50 \times 10^{-6}$ $50 \times 10^{-6}$ to 10 10	$1.5 \times C_C \times 10^{-7}$ $27 \times C_C \times t^{0.75}$ $5.0 \times C_C \times 10^{-6}$ $9 \times C_C \times t^{0.75} \times 10^{-3}$ $50 \times C_C \times 10^{-3}$	$9 \times C_C \times T_{\text{max}}^{-0.25} \times 10^{-3}$ $5 \times C_C \times 10^{-3}$
1.400 to 1.500	$10^{-9}$ to $10^{-3}$ $10^{-3}$ to 10 10	0.1 $0.56 \times t^{0.25}$ 1.0	$1/(10 \times T_{\text{max}})$ $0.56 \times T_{\text{max}}^{-0.75}$ 0.1
1.500 to 1.800	$10^{-9}$ to 10 10	1.0 1.0	$1/T_{\text{max}}$ 0.1
1.800 to 2.600	$10^{-9}$ to $10^{-3}$ $10^{-3}$ to 10 10	0.1 $0.56 \times t^{0.25}$ 1.0	$1/(10 \times T_{\text{max}})$ $0.56 \times T_{\text{max}}^{-0.75}$ 0.1
2.600 to $10^3$	$10^{-9}$ to $10^{-7}$ $10^{-7}$ to 10 10	$10 \times 10^{-3}$ $0.56 \times t^{0.25}$ 1.0	$0.56 \times T_{\text{max}}^{-0.75}$ 0.1

$$C_A = 1.0 \text{ for } \lambda = 0.4 \text{ to } 0.7 \mu\text{m}$$

$$C_C = 1.0 \text{ for } \lambda = 1.05 \text{ to } 1.15 \mu\text{m}$$

$$C_A = 10^{2(\lambda-0.7)} \text{ for } \lambda = 0.7 \text{ to } 1.05 \mu\text{m}$$

$$C_C = 10^{18(\lambda-1.15)} \text{ for } \lambda = 1.15 \text{ to } 1.2 \mu\text{m}$$

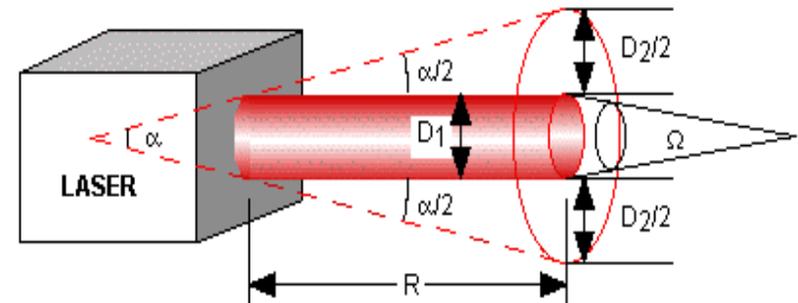
$$C_A = 5.0 \text{ for } \lambda = 1.05 \text{ to } 1.4 \mu\text{m}$$

$$C_C = 8.0 \text{ for } \lambda = 1.2 \text{ to } 1.4 \mu\text{m}$$

# Distance Nominale de Risque Oculaire (DNRO)

**DNRO** : Distance à laquelle, dans des conditions idéales, l'éclairement énergétique ou l'exposition énergétique tombe en dessous des EMP appropriés

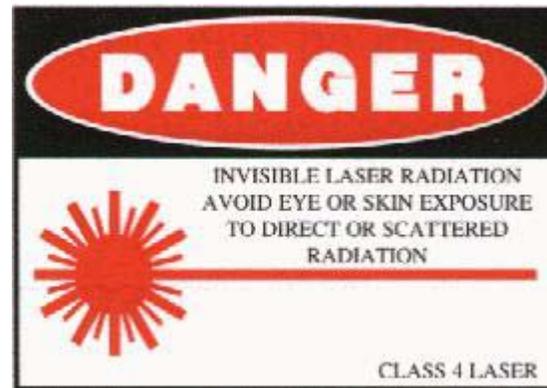
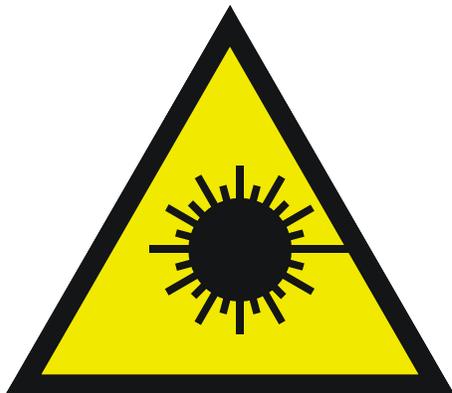
$$DNRO = \frac{\left[ \sqrt{\frac{4P}{\pi E_{EMP}}} - D_1 \right]}{\alpha}$$



→ Calcul à refaire si émission laser en sortie de fibre ou après une optique d'observation

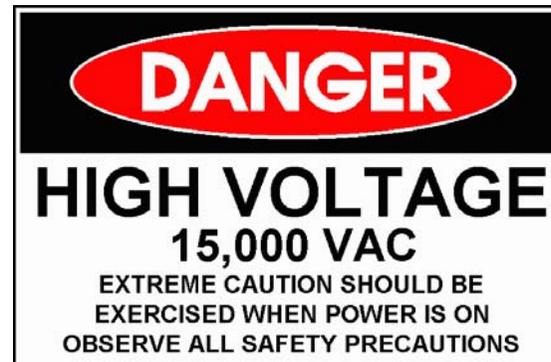
## Prévention : aménagement (1/4)

- *Peinture mate ou très peu de brillance (-15%)*
- Matériau peu ou pas inflammable
- S'assurer d'un minimum d'éclairage (contraction de la pupille)
- *Écran bloquant les fenêtres extérieures*
- *SAS ou rideau limitant l'espace occupé*
- Interphone ou téléphone
- Signal lumineux clignotant à l'extérieur de la zone laser :
- Et bien sûr l'affichage dans la pièce concernée



## Prévention : aménagement (2/4)

- Enceinte autour des condensateurs ou du tube flash
- Contact coupant automatiquement le courant quand le couvercle du laser est soulevé
- *Mises à la terre*
- *Obturbateur de faisceau*
- *Signalisation de présence de haute tension*



## Prévention : aménagement (3/4)

- Signal lumineux ou sonore de pré-déclenchement de tir
- Affiches sur le laser :
- Étiquettes aux ouvertures du laser



- Limiter le nombre de lasers par pièce
- Faisceau non dirigé vers les portes ou les fenêtres
- Bon support de l'équipement (supports fixes)
- Écrans protecteurs

## Prévention : aménagement (4/4)

- *Hauteur du faisceau différente d'où se trouve l'oeil*
- Poste informatique et écran à une hauteur supérieure au faisceau (1,54m)
- Trajet du faisceau enclos au maximum
- Élimination des surfaces réfléchissantes : rangement outils, bijoux,...
- Appareils de mesure placés de manière à détourner le regard de l'utilisateur du faisceau
- Aération si utilisation de produits toxiques
- Traitement antireflet de l'optique
- Viseur IR, caméra
- Aucun câble ou fiche électrique au niveau du sol
- Absorbants non réfléchissants et incombustibles (NFPA 701)

## Consignes aux utilisateurs (1/2)

- Être informé des risques et des mesures préventives
- Suivre une formation de sécurité laser
- Ne pas diriger volontairement le faisceau vers une personne
- Ne jamais garder volontairement l'oeil dans le faisceau (même lors de l'alignement)
- Observer les mesures de prévention électrique
- Porter des vêtements de protection
- *Atténuer au maximum le faisceau (par filtres et diaphragme) chaque fois que l'émission maximale n'est pas nécessaire : en particulier pour les réglages*
- Déclencher un tir seulement après s'être assuré que personne n'est en danger

## Consignes aux utilisateurs (2/2)

- Réduire au minimum le nombre de personnes
- Réserver l'accès au personnel expérimenté
- *Prendre en charge les visiteurs*
- *Enlever tout objet réfléchissant apparent (montre, stylo, bijoux, etc.)*
- *Utiliser un laser de classe 1 ou 2 pour les alignements*
- Manipuler adéquatement colorants et solvants
- *Consulter les services médicaux rapidement en cas d'accident*
- *Choisir et porter des lunettes de protection appropriées*
- *Porter les lunettes quand il y a un risque de réflexion*
- Subir un examen visuel (fond de l'oeil) régulièrement

# Protection oculaire

---

## Critères liés au choix de lunettes:

longueur d'onde, O.D., numéro d'échelon, visibilité, transparence, confort, poids, résistance aux chocs, monture enveloppante

## Directives p/r aux lunettes:

- Vérifier régulièrement leur bon état et éliminer les défectueuses
- Ne jamais regarder volontairement le faisceau ou une réflexion
- Nettoyer régulièrement les lunettes
- Les ranger dans un étui, dans la zone du laser
- Prévoir des lunettes supplémentaires pour les visiteurs

# Protection oculaire : marquage lunettes

## Normes EN207, EN208

### Sur le côté de la lunette...

ex.:            1    2    3       4            5    6  
                  DI 1060 L8 NAJAEL CE EN207

1. Type de laser (D continu, I pulsé, R impulsions géantes, M impulsions à modes couplés)
2. Longueur d'onde filtrée
3. Numéro d'échelon (Tableau 1 de la norme)
4. Nom du fabricant
5. Marque de certification
6. Référence à la norme concernée



# Procédure en cas d'accident – Lésions oculaires

- Fermer les yeux
- Faire le **15**
  - Préciser la partie du corps atteinte
  - Identifier le laser (classe, énergie, longueur d'onde, rayon direct ou réflexion)
- Mettre des compresses stériles sur chacun des deux yeux
- Mettre plusieurs compresses pour empêcher la lumière de pénétrer. Les fixer avec une bande de gaze
- Traiter l'état de choc, s'allonger en maintenant la tête plus haute que le reste du corps en tout temps
- Attendre l'ambulance

→ Quelle que soit l'importance de l'accident, aller à l'hôpital dans les heures qui suivent

→ Subir par la suite un examen du fond de l'oeil



*Pour :*

*\* consulter les normes,*

*\* savoir comment sécuriser un appareil ou une zone laser,*

*→ C. Vergnenègre, 2i, pièce 142*

*tel : 78 01*

*mail : vergne@laas.fr*

**Merci de votre attention**