



JOURNEE D'INFORMATION

« RISQUE LASER »

Marseille le 26/03/2013

Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

Patrick Moureaux
01 40 44 31 09
patrick.moureaux@inrs.fr

Département **E.C.T**
Expertise et **C**onseil **T**echnique

Rayonnements Ionisant , non ionisants
et optiques

- ▶ LUMIERE et SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE
- ▶ LE LASER
- ▶ LES RISQUES
- ▶ LA REGLEMENTATION : TEXTES et NORMES
- ▶ LES MOYENS DE PROTECTION et de PREVENTION
- ▶ CONSIGNES AUX UTILISATEURS

LUMIERE



**ONDE
ELECTROMAGNETIQUE**

$$\lambda = c/f$$

C = vitesse de la lumière (m/s)

λ = longueur d'onde (m)

f = fréquence (Hz)



**CORPUSCULAIRE
Faisceau de PHOTONS**

$$E = h.f$$

E = Energie (J)

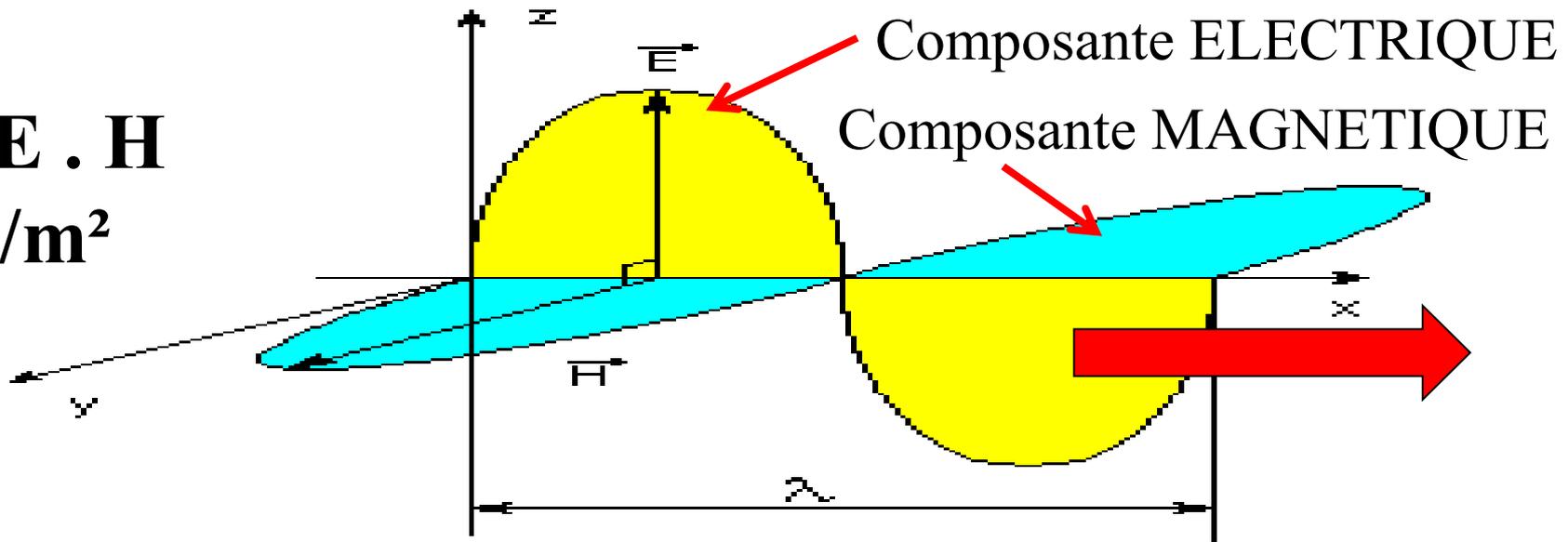
h = Cte de Planck

RAPPEL : Onde ELECTROMAGNETIQUE

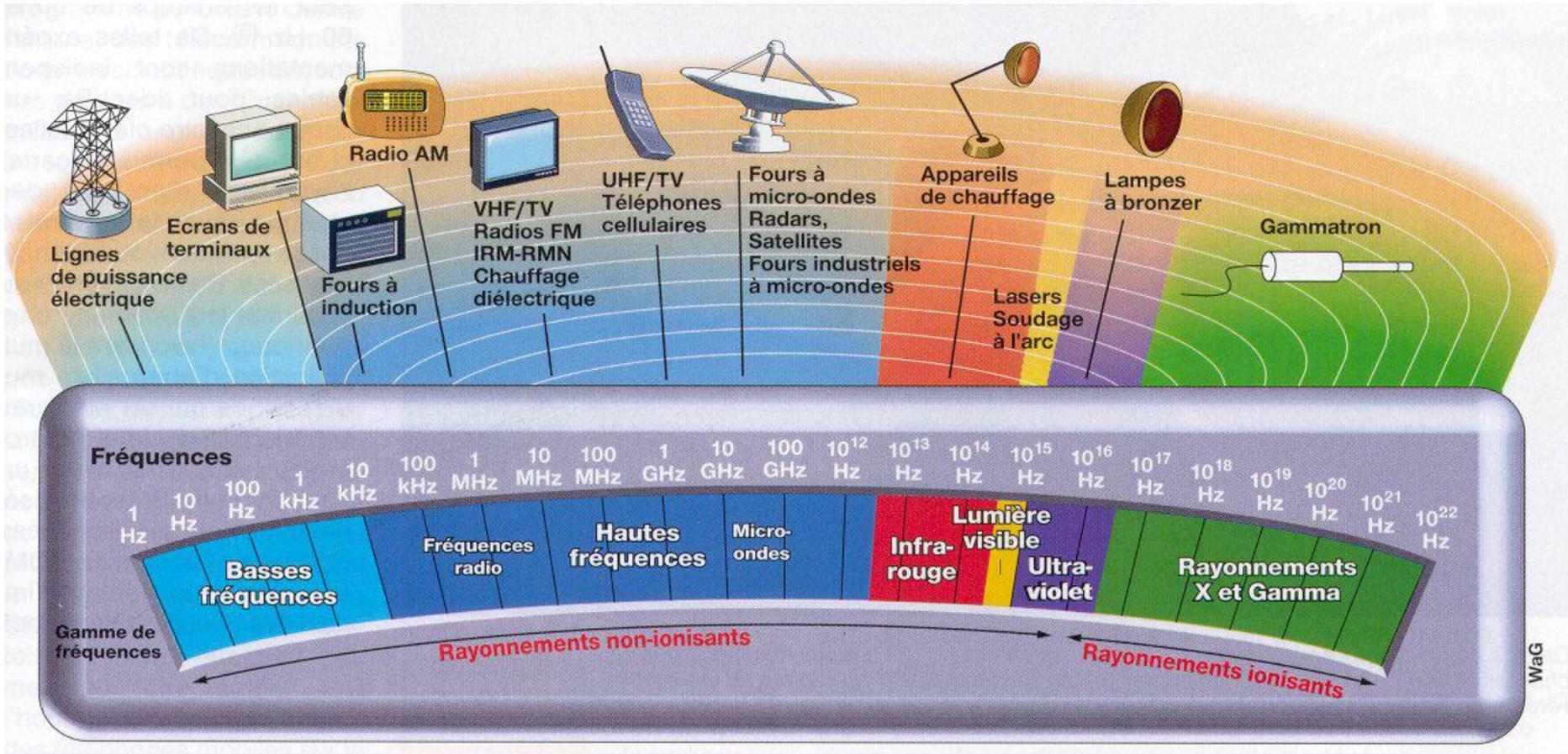
Caractérisée par : FREQUENCE, AMPLITUDE

Fréquence f (Hz) ou Longueur d'onde λ (m) = c / f

$$P = \mathbf{E} \cdot \mathbf{H}$$
$$\text{W/m}^2$$



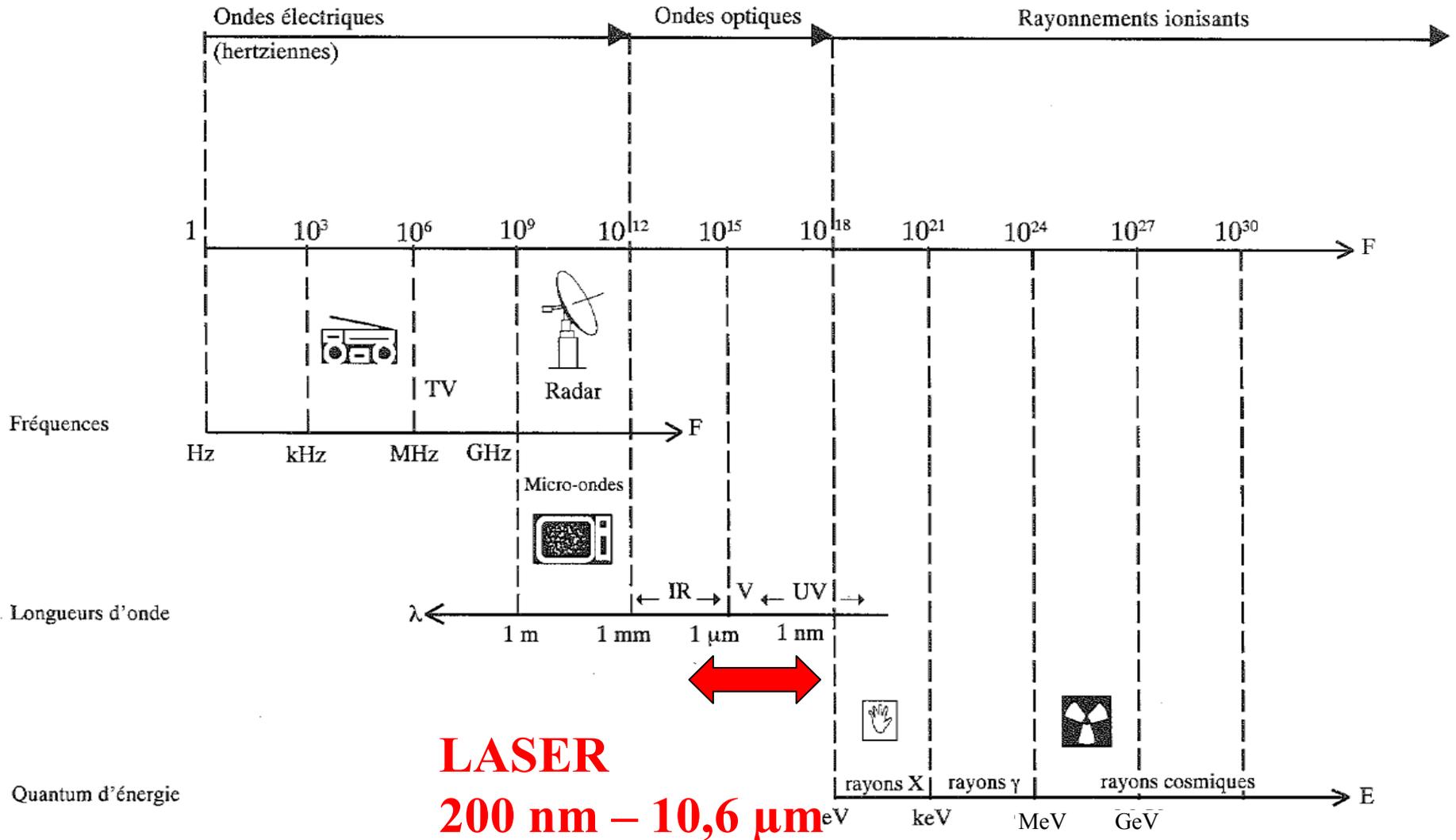
LUMIERE et SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE



FREQUENCE DE L'ONDE



LUMIERE et SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE



➤ $1 \text{ mm} < \lambda < 180 \text{ nm}$: LUMIERE

- IR : 1 mm à 780 nm
 - IRC : 3 μm à 1000 μm
 - IRB : 1,4 à 3 μm
 - IRA : 780 nm à 1400 nm
- VISIBLE : 780 nm à 380 nm
 - A chaque couleur sa longueur d'onde
- UV : 380 nm à 100 nm
 - UVA : 315 à 400 nm
 - UVB : 280 à 315 nm
 - UVC : 180 à 280 nm

RAPPELS PHYSIQUES

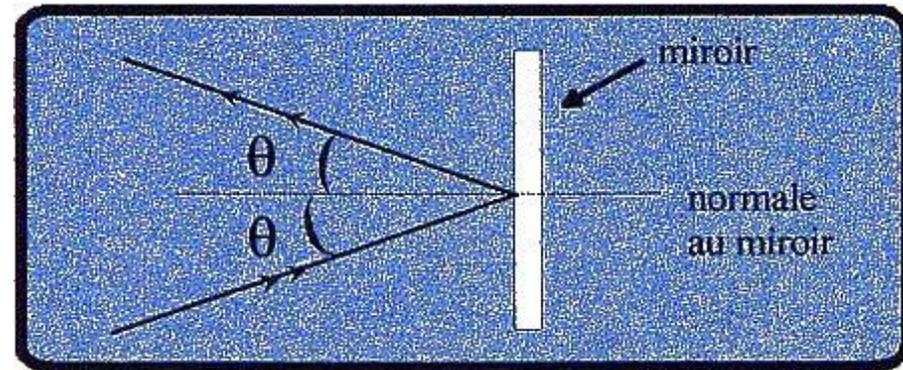
EFFET	ENERGIE DE LIAISON			
	eV	f(GHz)	$\lambda(\mu\text{m})$	Partie du spectre
Van der Waals	0,01	$2,4 \times 10^3$	125	IR
Liaison hydrogène	0,1	$2,4 \times 10^4$	12,5	IR
Rotation protéine polaire	0,2	5×10^4	6	IR
Liaison covalente	4	1×10^6	0,33	UV
Énergie d'ionisation	10	$2,4 \times 10^6$	0,125	X, γ , rayonnements particulaires

$$W = h \cdot F \text{ en Joules} \quad 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$$

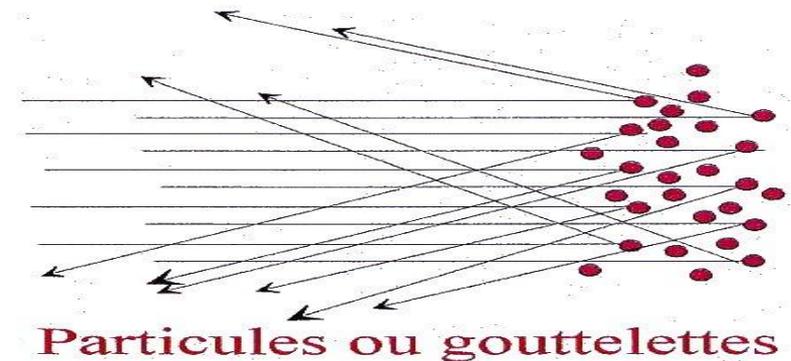
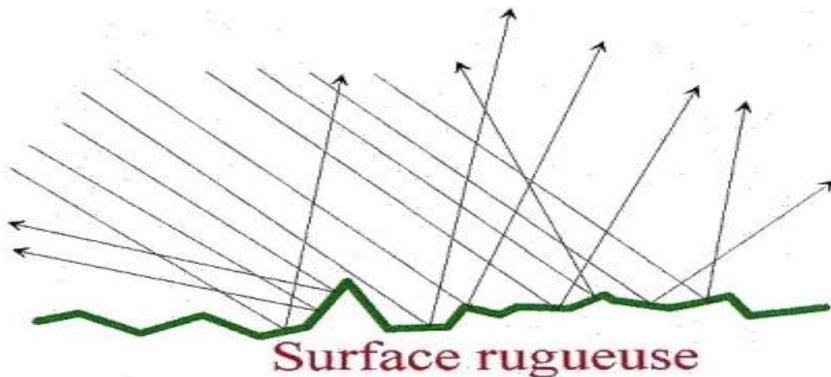
➤ PROPAGATION

➤ En ligne droite : vitesse = 300 000 km/s

- Réflexion sur un miroir
 - Réflexion SPECULAIRE



➤ Diffusion sur particules ou surfaces rugueuse



➤ Light Amplification (by) Stimulated Emission (of) Radiation

➤ Amplification de Lumière par Emission Stimulée

➤ PRINCIPE de FONCTIONNEMENT

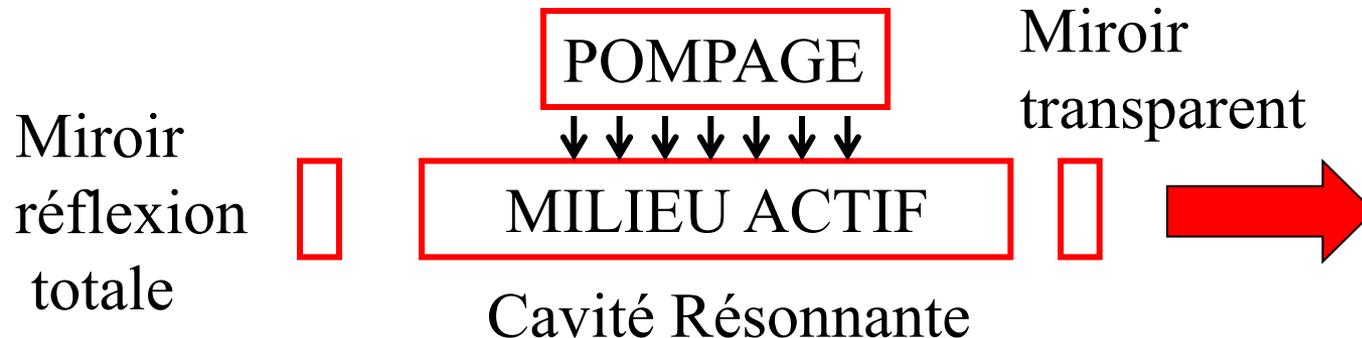
➤ Un MILIEU ACTIF : Atomes, Ions, Molécules

➤ Une SOURCE d'ENERGIE EXTERIEUR (POMPAGE) :

- Décharge électrique, Optique (Flash ou Laser YAG), Réaction Chimique

➤ Une CAVITE RESONNANTE : milieu LASANT (Gaz, Cristal)

- Constitué de MIROIRS



➤ LE MILIEU ACTIF ou AMPLIFICATEUR

➤ DETERMINE LA/LES FREQUENCE(S) D'EMISSION

➤ **GAZEUX :**

- He-Ne ; CO₂ ; Ar ; Azote N₂ ; Excimères ; Chimique ; etc
- Des émissions dans tous le spectre

➤ **LIQUIDE :** laser à COLORANT

- Molécule organiques + solvants (Ethylène glycol ou méthanol)
- Emettent dans le visible

➤ **SOLIDE**

- YAG ; RUBIS ;
 - Emettent dans le Rouge et IR proche
- SEMI-CONDUCTEURS : Diode laser et Diode Electroluminescente
 - Emettent dans le proche UV et IR proche

➤ LE POMPAGE

- ELECTRIQUE : Décharge dans un tube de gaz ;
- OPTIQUE : Lampe Flash ; Lampe à Arc ; Diode Laser
- CHIMIQUE
- LASER

➤ FONCTIONNEMENT

➤ CONTINU

➤ IMPULSIONNEL : plusieurs modes possibles

➤ **DECLENCHE** (Q-switched) : $P > 1 \text{ MW/cm}^2$ et impulsion 10 ns

➤ **RELAXE** : impulsions de 1 μs à 1 ms

➤ **BLOQUE** : impulsions très courtes : femtoseconde = 10^{-15} s

➤ 5 à 10 fs en laboratoire

➤ 15 à 100 fs

- **LUMIERE QUASI MONOCHROMATIQUE** : 1 longueur d'onde
 - Une ou plusieurs Longueur d'onde sont émises en fonction du milieu actif
 - Ex : laser He-Ne : $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ (VISIBLE)
 - Ex : laser CO₂ : $\lambda = 10 \mu\text{m}$ (IR)

- **DIRECTIVITE**
 - Les PHOTONS se propagent dans la même DIRECTION
 - DIVERGENCE du FAISCEAU très faible

- **COHERENCE DU RAYONNEMENT**
 - Photons émis dans une direction
 - Même fréquence
 - Ondes en phase

➤ PUISSANCE et ECLAIREMENT

- **PUISSANCE** : Energie Lumineuse **émise** par Unité de Temps (W ou J/s)
 - Ex : LASER CO2 : $P > 10 \text{ kW}$ (découpage du métal)
 - Ex : Diode Laser: $P = 1 \text{ mW}$
- **ECLAIREMENT** : Puissance **reçue** par Unité de Surface (W/m^2)

$$E = P / S = 4P / \pi D^2$$

La puissance est concentrée sur une petite surface

HeNe 2 mW , faisceau diamètre 1 mm : $E = 2500 \text{ W}/\text{m}^2$

CO² de 1 kW , faisceau diamètre 1 mm : $E = 13 \text{ GW}/\text{m}^2$

SOLEIL : $E = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$ - 1 MW avec une loupe

LASERS A GAZ

MATÉRIAU ACTIF	UTILISATIONS	λ en nm	IMPULSION		ÉNERGIE PUISSANCE
			Durée en ns	Cadence	
Hélium néon	Travaux de chantiers (alignement, définition de plans guidage d'engins de TP, télémétrie, topographie ; Métrologie (réglage des machines, granulométrie, écartométrie, interférométrie)	632	continu		0,1 à 100 mW
Hélium-cadmium	Positionnement de montage (électronique) Holographie Reconnaissance de signes codés Impression graphique	442	continu		0,1 W à 40 kW
Gaz ionisés (krypton, argon)	Télémétrie ; holographie ; spectroscopie ; photocoagulation ; recherches ; spectacles	350 à 800	continu		1 W À 20 kW
Dioxyde de carbone	Découpage de matériaux divers (métaux, plastiques, réfractaire, bois, papier) Soudage de métaux et plastiques Traitements thermiques Chirurgie (odontologie, ORL...)	10 600	continu		1 à 100 mJ
Azote	Photochimie ; recherche ; impression graphique	337	100	1 à 10 Hz	1 à 50 mJ
Excimères	Impression graphique ; ophtalmologie ; dermatologie ; micro-électronique	190 à 350	10 à 60	1 à 50 Hz	Quelques mJ
Vapeurs métalliques	Photothérapie	500 à 1 500	20	Quelques Hz	Quelques mJ

LASERS SOLIDES

MATÉRIAU ACTIF	UTILISATIONS	λ en nm	IMPULSION		ÉNERGIE PUISSANCE
			Durée en ns	Cadence	
YAG	Vaporisation de métal Ajustage de résistance Récuit Ophtalmologie	1 060	30 ps à 10 ms et continu	1 à 50 000 Hz	0,1 mJ à 30 J jusqu'à quelques centaines de W
YAG dopé TR (terres rares)	Perçage et soudage (horlogerie, micromécanismes, électronique) Gravure Chirurgie Recherche	1 500 à 2 500			
RUBIS	Holographie d'objet en mouvement Téléométrie	694	30 ns	0,03 à 10 Hz	1 à 100 mJ
	Micro-usinage, vaporisation de couches métalliques Perçage (diamant, rubis) Soudage (fils fins)		500 s	Faibles cadences 10 à 0,03 Hz	0,05 à 5 J par impulsion
VERRE DOPÉ AU NÉODYME	Soudage par points Soudage de pièces et fils fins Gravure Perçage Spectrographie Recherche	1 060	0,5 à 5 ms	10 à 20 impulsions par minute	10 à 60 J par impulsion

LASERS A LIQUIDE

MATÉRIAU ACTIF	UTILISATIONS	λ en nm	IMPULSION		ÉNERGIE PUISSANCE
			Durée en ns	Cadence	
Colorants	Spectroscopie Étude de matériaux Dermatologie Ophtalmologie	Variable 350 à 100	Impulsions ou continu		qq mW à qq W

LASERS A SEMI-CONDUCTEURS

MATÉRIAU ACTIF	UTILISATIONS	λ en nm	IMPULSION		ÉNERGIE PUISSANCE
			Durée en ns	Cadence	
Diodes laser	Télécommunication par fibre Compact disque Télémétrie	1 540	Continu ou impulsion		qq mW à 1 500 mW (diodes couplées)
	Télémétrie impulsionnelle ou à comparaison de phase	1 320 à 3 000			
Diodes électroluminescentes	Visualisation, télémétrie, émission	650	Continu ou impulsion		qq mW

- **EFFETS MECANIQUES : $t < 1 \mu\text{s}$**
 - Plasma, onde de choc : utilisé en ophtalmologie
- **EFFETS THERMIQUES : $1 \mu\text{s} < t < 5 \text{s}$**
 - Applications médicales en fonction de la température et du temps
- **EFFETS PHOTOCHEMIQUES : $t > 5 \text{s}$**
 - Marquage des tissus avec un PHOTOSENSIBILISANT puis ECLAIREMENT pour détruire le tissu par réaction chimique
 - Laser de faible P et durée d'exposition longue
- **EFFETS PHOTOABLATIFS (UV)**
 - Ablation sans lésion thermique (scalpel optique)
 - Action des UV en superficie
 - Ophtalmologie : correction des défauts de l'oeil

➤ RISQUES BIOLOGIQUES

➤ PARAMETRES D'INFLUENCE

- Longueur d'onde
- Durée d'exposition
- Eclairement
- Puissance du faisceau
- Diamètre du faisceau (ouverture)
- Nature des tissus exposés

➤ DUREE D'EXPOSITION

➤ LASER CONTINU : $t \geq 0,25 \text{ s}$

➤ à $t = 0,25 \text{ s}$ - REFLEXE PALPEBRALE (VISIBLE)

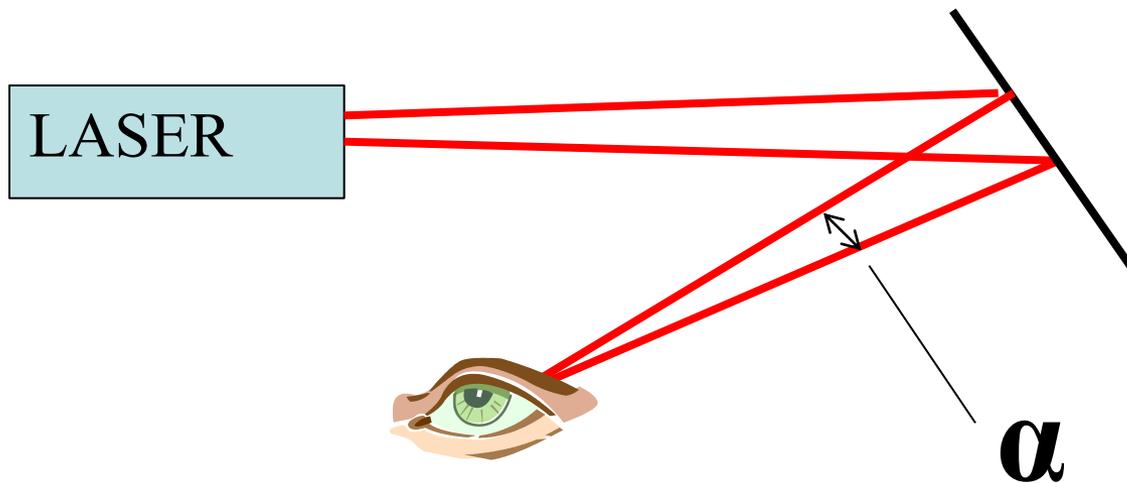
➤ LASER IMPULSIONNEL : $t < 0,25 \text{ s}$

➤ t = durée de l'impulsion

➤ Train d'impulsion : connaître t et fréquence de répétition

➤ SOURCE PONCTUELLE OU ETENDUE

➤ Notion de DIAMETRE APPARENT DE LA SOURCE : α min



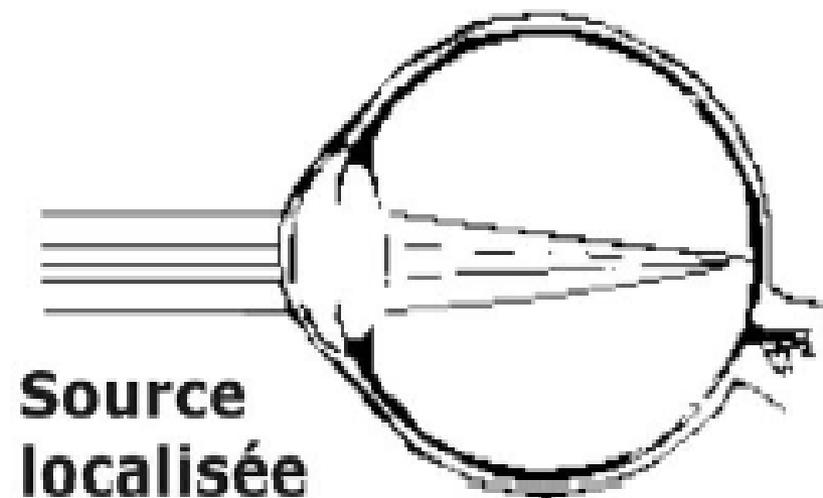
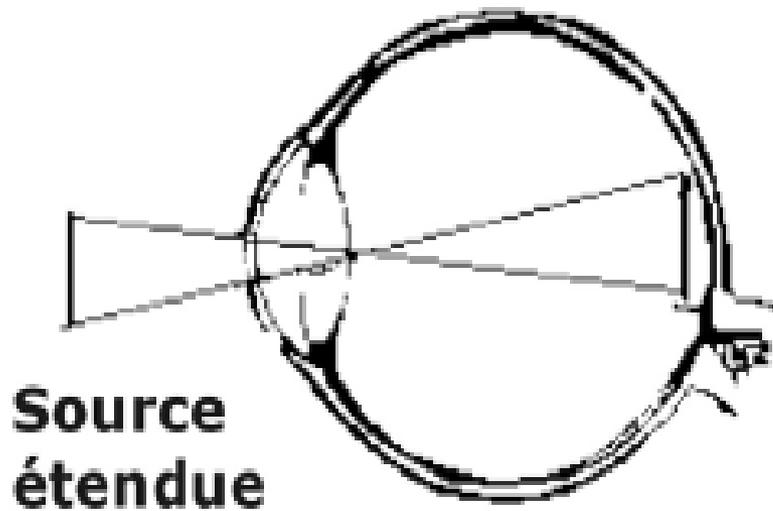
➤ α min : différence entre vision dans le faisceau et vision d'une source étendue = 1,5 mrad

$\alpha > \alpha$ min ➔ Source étendue

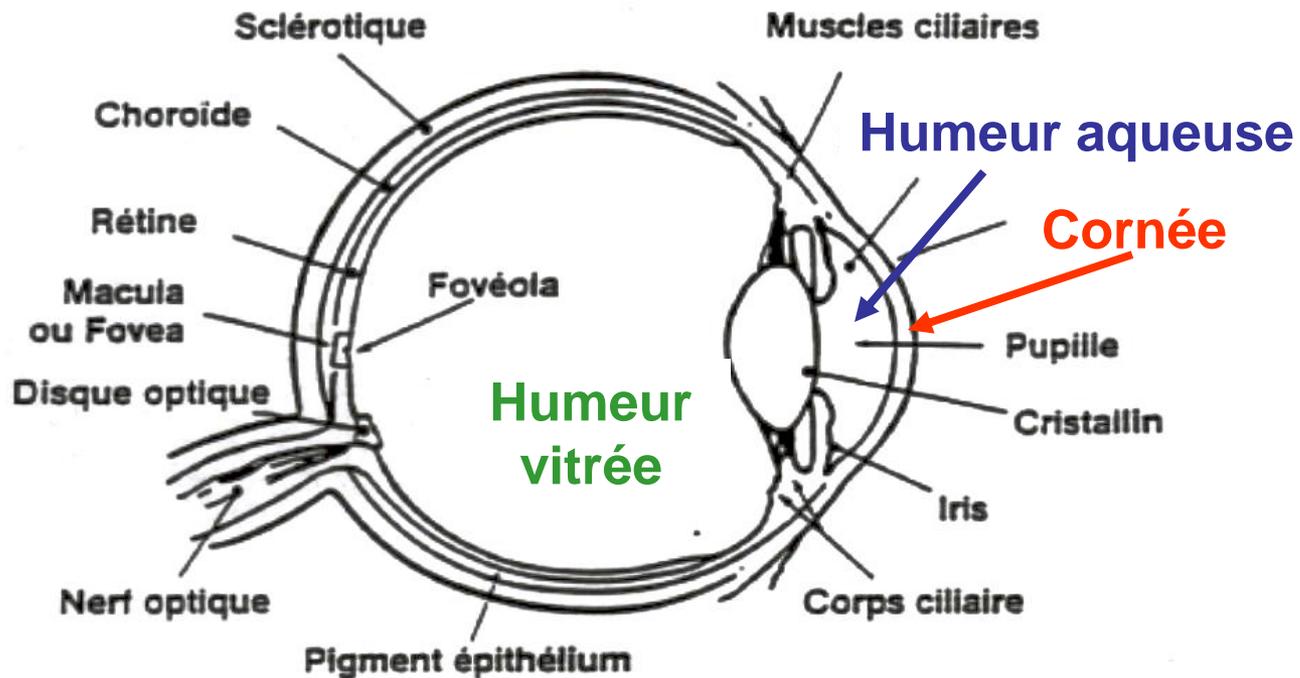
$\alpha < \alpha$ min ➔ Source ponctuelle

➤ SOURCE PONCTUELLE OU ETENDUE

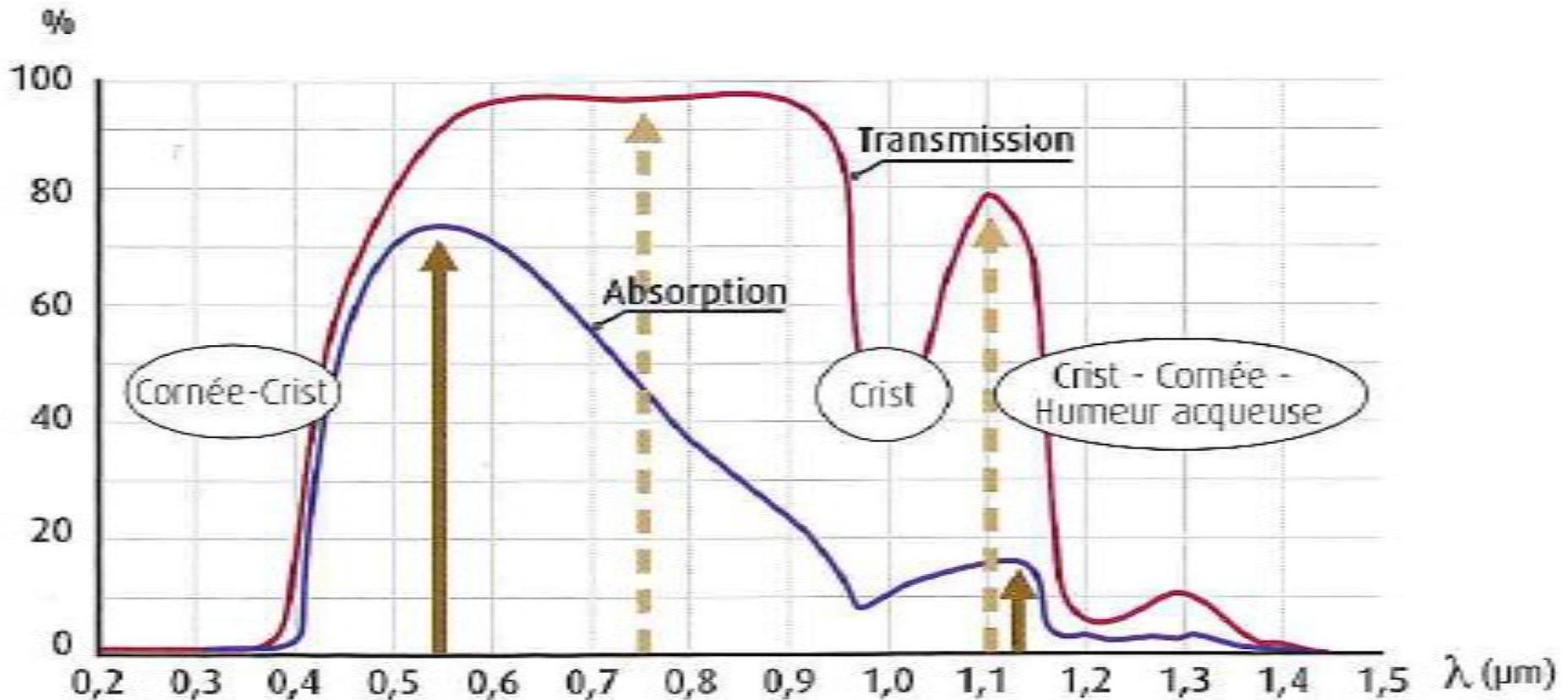
- DANGER DANS LE VISIBLE ET PROCHE IR LIE A LA TAILLE DE LA SOURCE
- FOCALISATION SUR LA RETINE



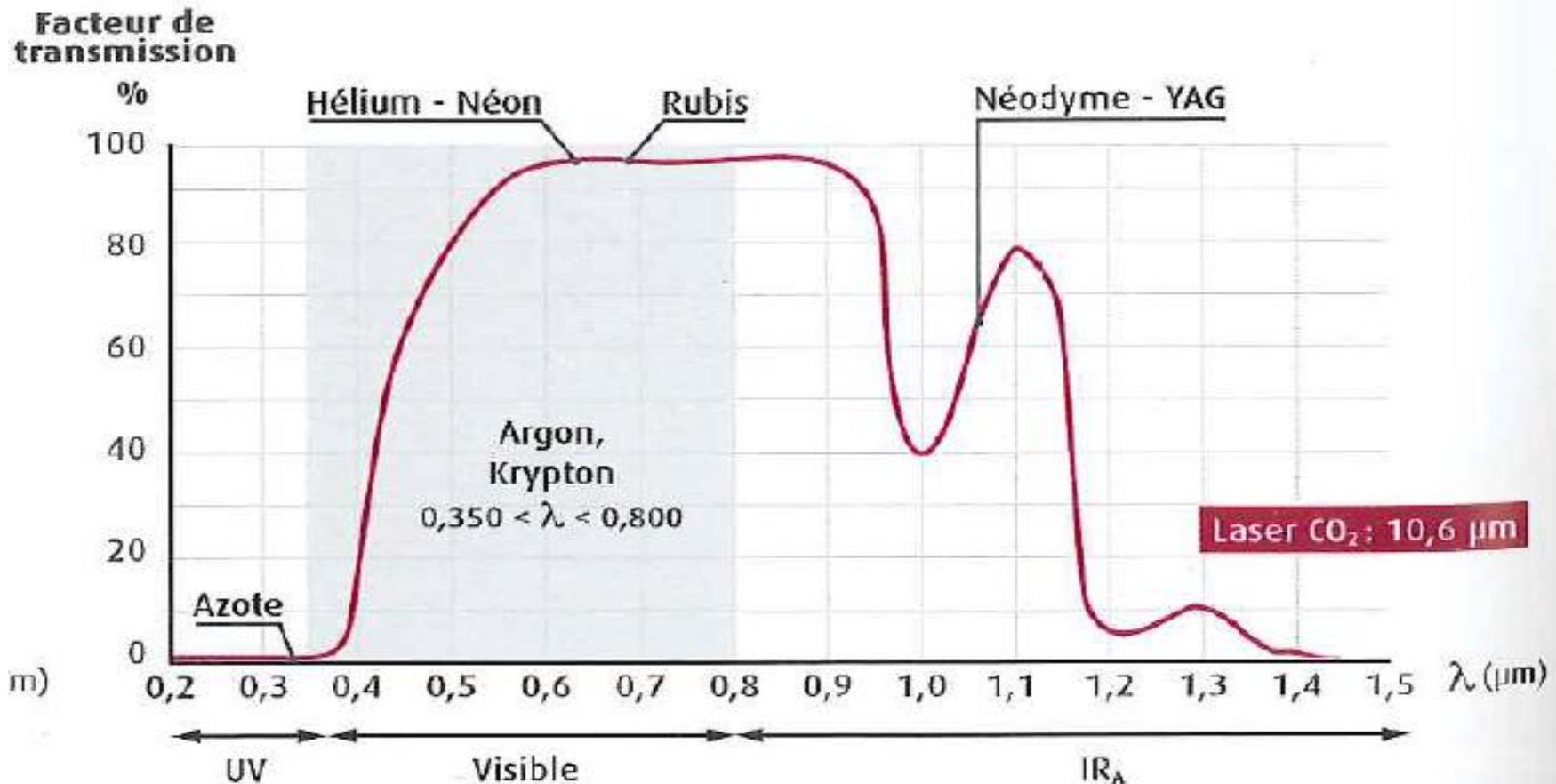
➤ EFFETS DUS A LA LONGUEUR D'ONDE : OEIL



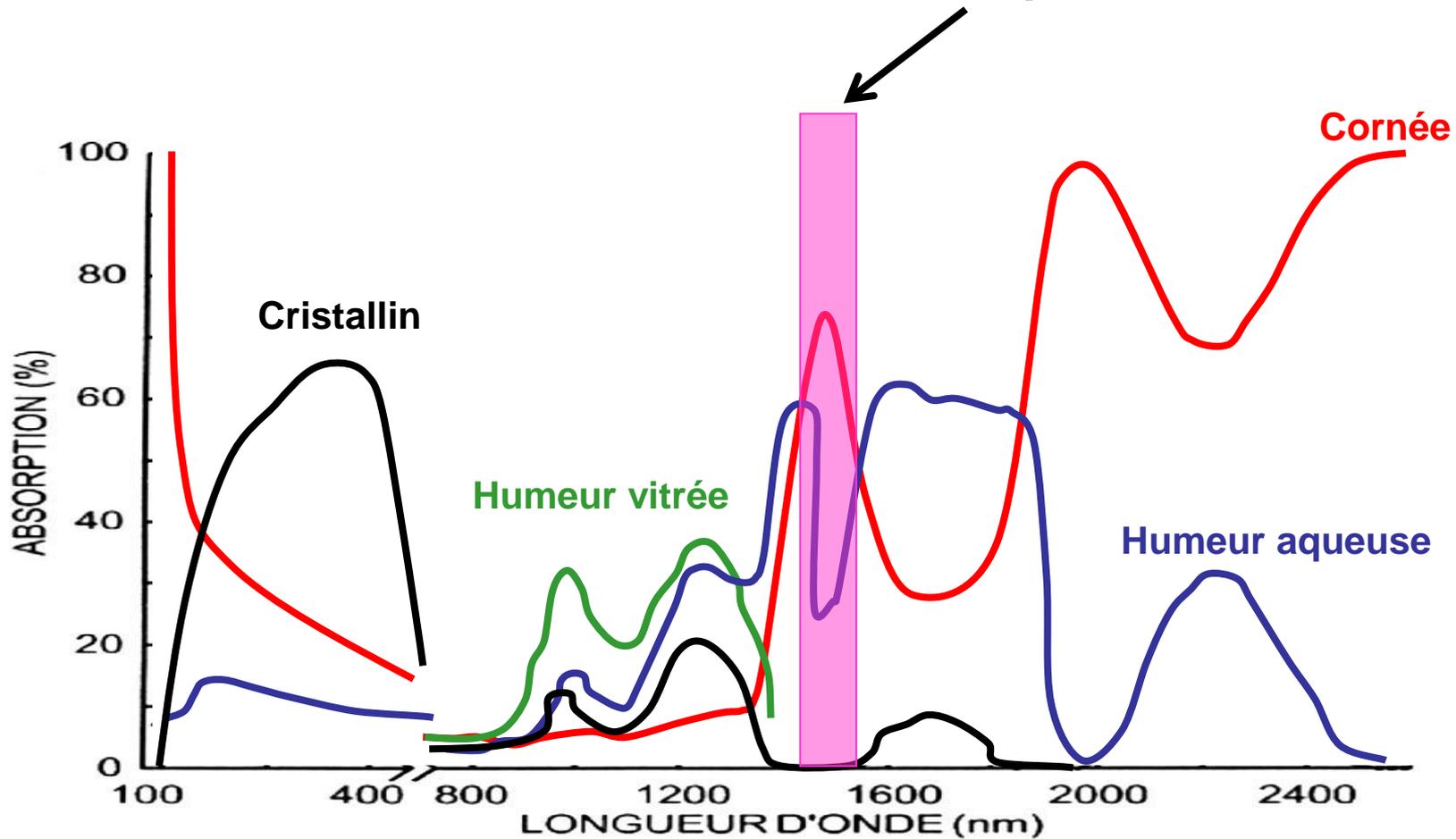
➤ EFFETS DUS A LA LONGUEUR D'ONDE : OEIL



➤ EFFETS DUS A LA LONGUEUR D'ONDE : OEIL



➤ LASER A SECURITE OCULAIRE : 1,55 μm



➤ LASER A SECURITE OCULAIRE : 1,55 μm

➤ APPLICATIONS :

➤ Dosage de polluants ; Télémétrie ; Télécom / Fibre Optique

➤ Les fibres optiques en SILICE : minimum absorption à 1,55 μm

➤ ABSORPTION DU CRISTALLIN = 0 % ; CORNEE = 70% ; HUMEUR AQUEUSE = 25 %

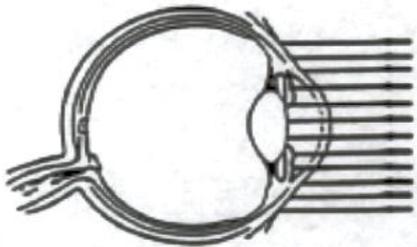
➤ TRES PEU D'ENERGIE ATTEINT LA RETINE

➤ L'ŒIL PEUT SUPPORTER 10^6 FOIS PLUS D'ENERGIE QU'A $\lambda = 1,064 \mu\text{m}$ (LASER YAG-Nd)

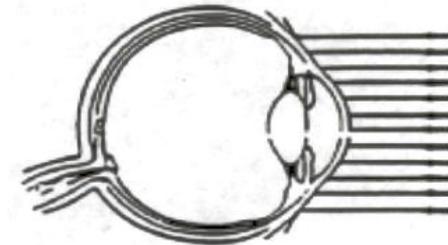
➤ LA CORNEE SE REPARE BIEN EN CAS DE LESION

L'ABSORPTION DANS L'OEIL

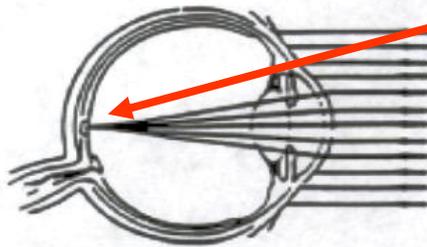
Proche UV



UV et IR lointains



Visible et IR proche



Effet de focalisation sur la rétine

$$E_{\text{rétine}} = 10^5 E_{\text{incident}}$$

En W/cm^2
ou en J/cm^2

➤ EN RESUME :

➤ UV :

➤ λ de 170 à 315 nm : Absorption par les milieux transparents

➤ IRRITATION DE LA CONJONCTIVE (CONJONCTIVITE)

➤ IRRITATION DE LA CORNEE (PHOTOKERATITE)

➤ λ de 315 à 400 nm : Si exposition répétée et prolongée

➤ PERTE DE TRANSPARENCE DU CRISTALLIN (CATARACTE)

➤ **VISIBLE (400 à 800 nm) et PROCHE IR (800 à 1400 nm)**

➤ **CORNEE et CRISTALLIN SONT TRES TRANSPARENTS**

➤ **LE FAISCEAU LASER ATTEINT LA RETINE**

➤ **SI LA DENSITE DE PUISSANCE EST IMPORTANTE : LESIONS IRREVERSIBLES**

➤ **CONSEQUENCES VARIABLES SELON LE POINT D'IMPACT**

➤ **Trou dans la rétine ; Tache noire (Macula) ; Perte vision (Fovéa)**

➤ EN RESUME (suite) :

➤ IR LOINTAIN : 1400 à 3000 nm

➤ OPACIFICATION DE LA CORNEE :

➤ **PHOTOKERATITE**

➤ OPACIFICATION DU CRISTALLIN :

➤ **CATARACTE**

➤ POUR LA PEAU

➤ LES RISQUES DEPENDENT:

➤ LONGUEUR D'ONDE

➤ ABSORPTION EN PROFONDEUR

➤ EFFET PRINCIPAL : THERMOGENE

➤ UV : EPIDERME (pénétration 50 à 150 μm)

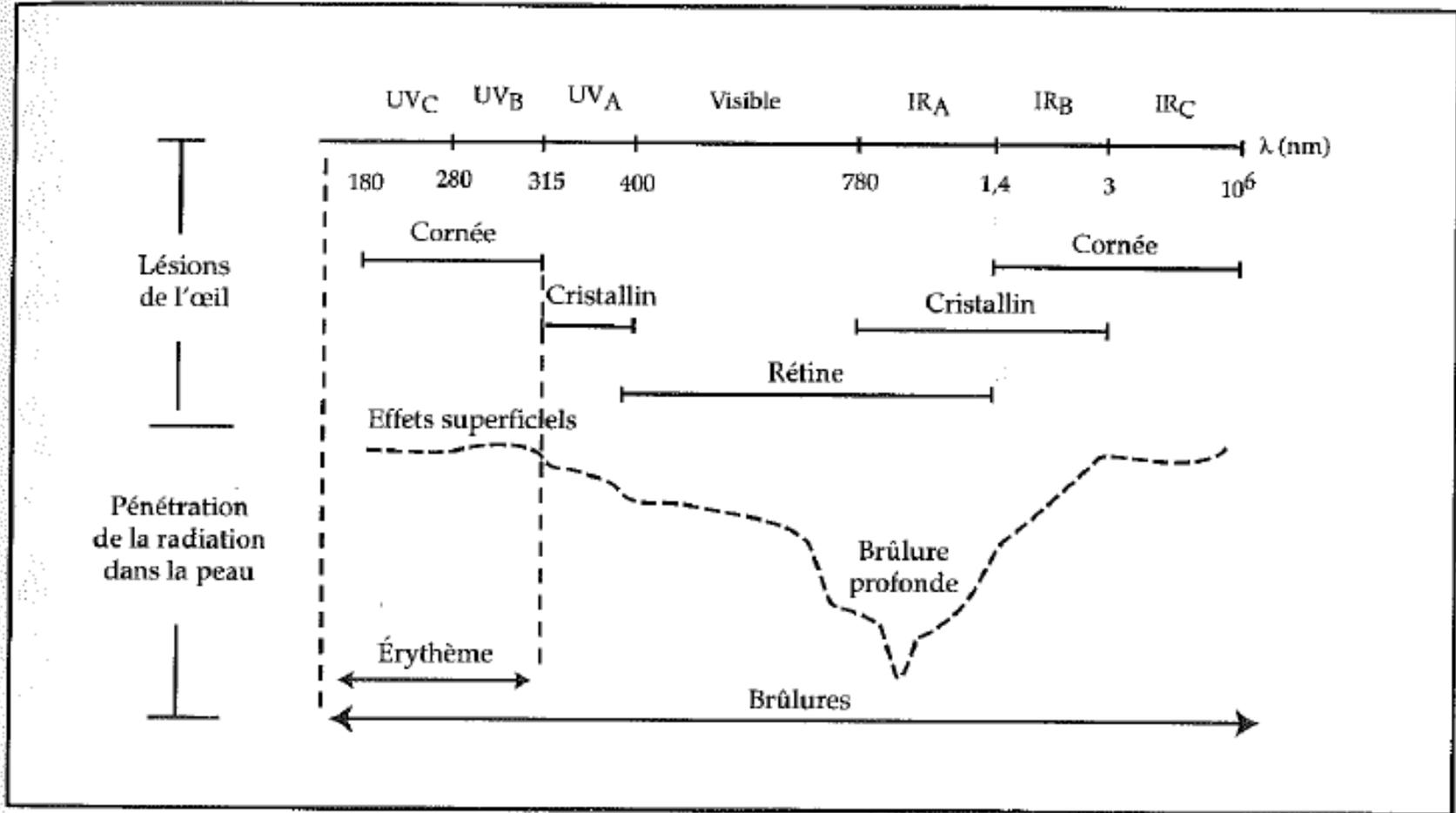
➤ VISIBLE : DERME (1 à 4 mm)

➤ IR : TISSUS SOUS-CUTANES

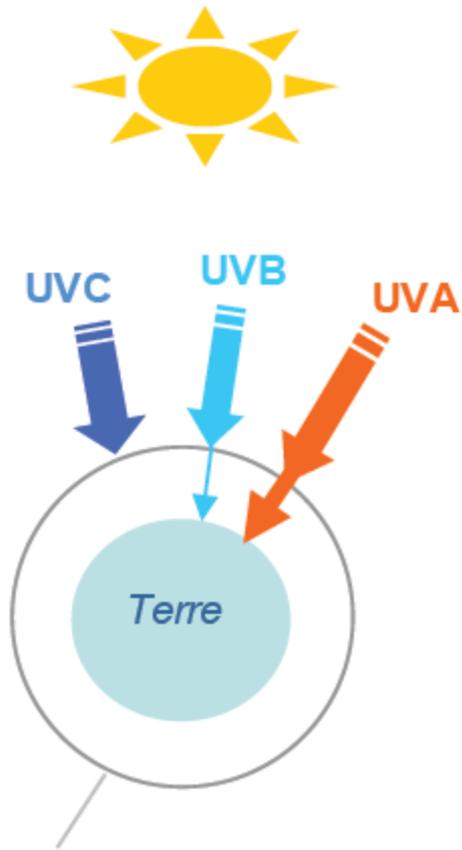
➤ CAS DES UV : Brulures avec retard

➤ CANCERIGENES : UV AUX λ de 250 à 315 nm

➤ POUR LA PEAU

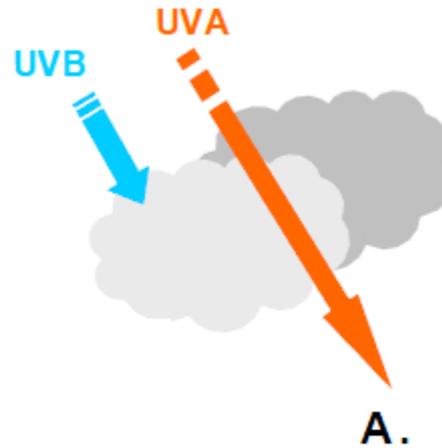


LES UV : RAPPEL

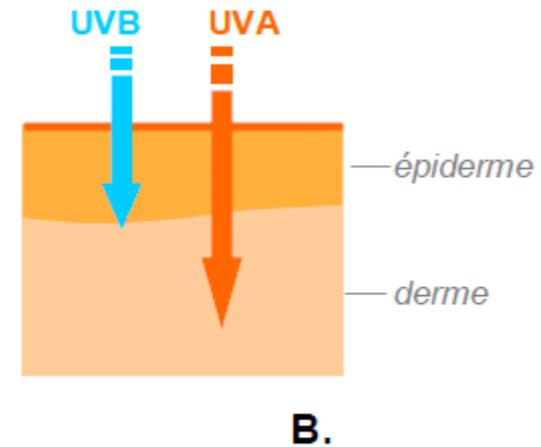


*Couche d'ozone
stratosphérique*

Source : INCa



Source : INCa



➤ POUR LA PEAU

▶ UVA et UVB :

> MODIFICATION DE L'ADN : EFFET MUTAGENE **MELANOME**

- Pour des doses < à celles déclenchant un « coup de soleil »
- Si expositions intenses ou répétées

► CLASSEMENT CIRC : UV de 100 à 400 nm

- > **Group 1: L'agent est *cancérogène pour l'homme* (107 agents)**
- > **Group 2A: L'agent est *probablement cancérogène pour l'homme* (63)**
- > **Group 2B: L'agent est *peut-être cancérogène pour l'homme* (271)**
- > **Group 3: L'agent est *inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme* (509)**
- > **Group 4: L'agent n'est *probablement pas cancérogène pour l'homme* (1)**

► ACCIDENT OCCULAIRE

> MESURES IMMEDIATES

- **PROTEGER L'ŒIL**
- **ADMINISTRER UN ANTALGIQUE ou un ANXIOLYTIQUE**
- **EXAMEN OPHTALMOLOGIQUE**

> RELEVER :

- **PARAMETRES PHYSIQUES DU LASER**
- **CONDITIONS DE L'ACCIDENT**



COMTE RENDU et CERTIFICAT D'ACCIDENT DU TRAVAIL

► ACCIDENT CUTANE

> MESURES IMMEDIATES

- REFROIDIR et PROTEGER LA PEAU AVEC UN PANSEMENT GRAS STERILE
- ADMINISTRER UN ANTALGIQUE ou un ANXIOLYTIQUE
- EXAMEN MEDICALISE

➤ COMTE RENDU et CERTIFICAT D'ACCIDENT DU TRAVAIL

► ELECTRIQUES

- > PRESQUE TOUS LES LASER :UTILISATION DE HAUTE TENSION
- > LASER A IMPULSIONS : ENERGIE ACCUMULEE DANS LES BATTERIES DE CONDENSATEURS
- > CONTACT DIRECT
- > CONTACT INDIRECT (en cas de défaut : mise sous tension accidentelle de partie métallique de l'appareil)

► CHIMIQUES

> LASER A COLORANTS :

- **PRODUITS PULVERULENTS PARFOIS TOXIQUES , CANCERIGENES et MUTAGENES**
- **SOLVANTS ORGANIQUES :**
 - **TOXIQUES : METHANOL, détruit le nerf optique**
 - **MUTAGENES, IRRITANTS, ...**

> LASER A GAZ :

- **GAZ TOXIQUES : eximères, XeCL , ArF , KrFr**

> LASER A FIBRE:

- **NETTOYAGE DES FIBRES : ACETONE , ISOPROPANOL**

> PARTICULES CONTAMINANTES (Gaz ou Solides) émises lors de l'usinage de matériaux , OZONE généré par laser utilisant ou créant des UV intenses

► RAYONNEMENTS HORS FAISCEAU

> CAVITE LASER ou CIBLE

- UV : CIBLE METALLIQUE ; LAMPES A DECHARGES
- VISIBLE et IR
- RAYON X : EMIS PAR LA CIBLE ou LA THT DES ALIMENTATIONS ELECTRIQUES (DANGEREUX SI THT > 30 kV)
- ELECTROMAGNETIQUES : LASER CO2 - $f = 12,6$ MHz
 - EFFETS THERMIQUES

► EXPLOSION :

- > INTERNE AU LASER : LAMPES A ARC HAUTE PRESION, LAMPES A FILAMENTS, CONDENSATEURS
- > EXTERNE AU LASER: CIBLE, MATERIAUX INTERVEPTANT LE FAISCEAU

► ACOUSTIQUES :

- > ALIMENTATION ELECTRIQUE , VENTILATION
- > DECHARGES DES LASER A IMPULSIONS
- > CLAQUAGE PAR FOCALISATION DU FAISCEAU

► INCENDIE :

- > LASER CONTINU : $P > 500 \text{ mW}$
- > Peut provoquer l'IGNITION de matériaux (bois , plastiques , tissus)
- > Echauffement de la cible

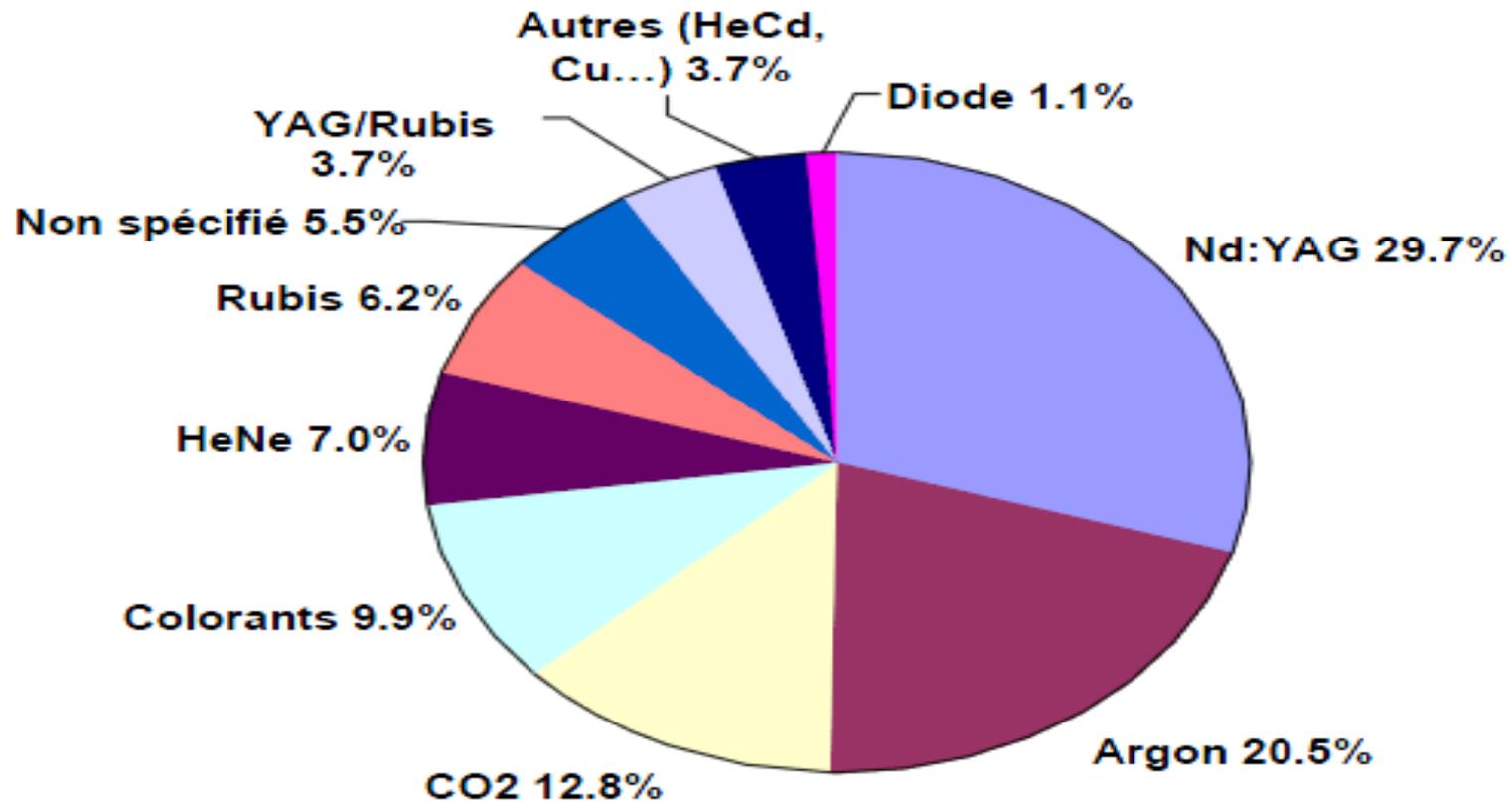
► CRYOGENIE :

- > UTILISATION DE FLUIDES A BASSE T
 - Azote ; Hélium liquide

- > RISQUE DE BRULURE

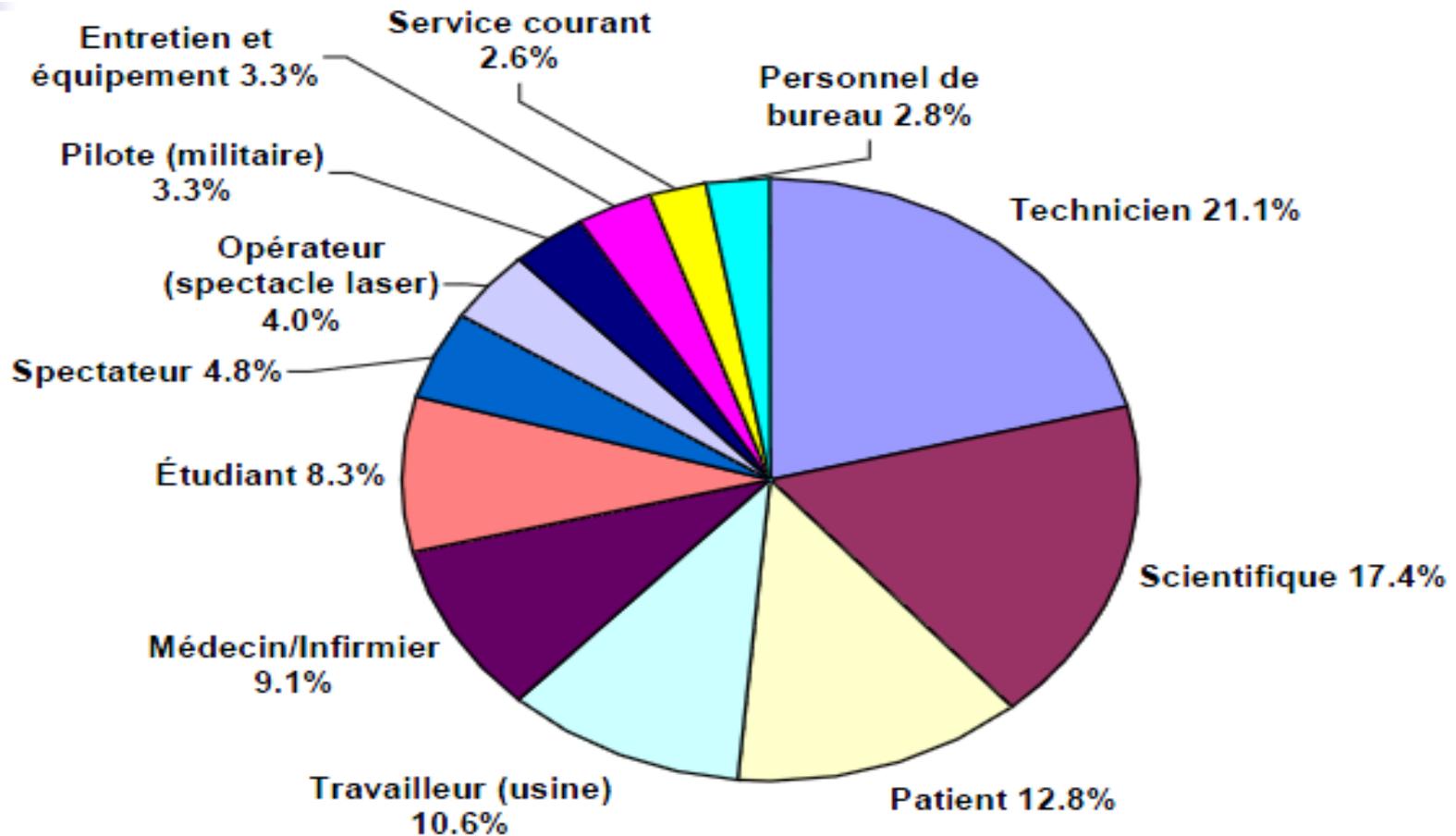
- > RISQUE DE MANQUE D'OXYGENE
 - ATTENTION : 1 L de fluide = 700 L de Gaz

LE LASER – LES ACCIDENTS / STATISTIQUES

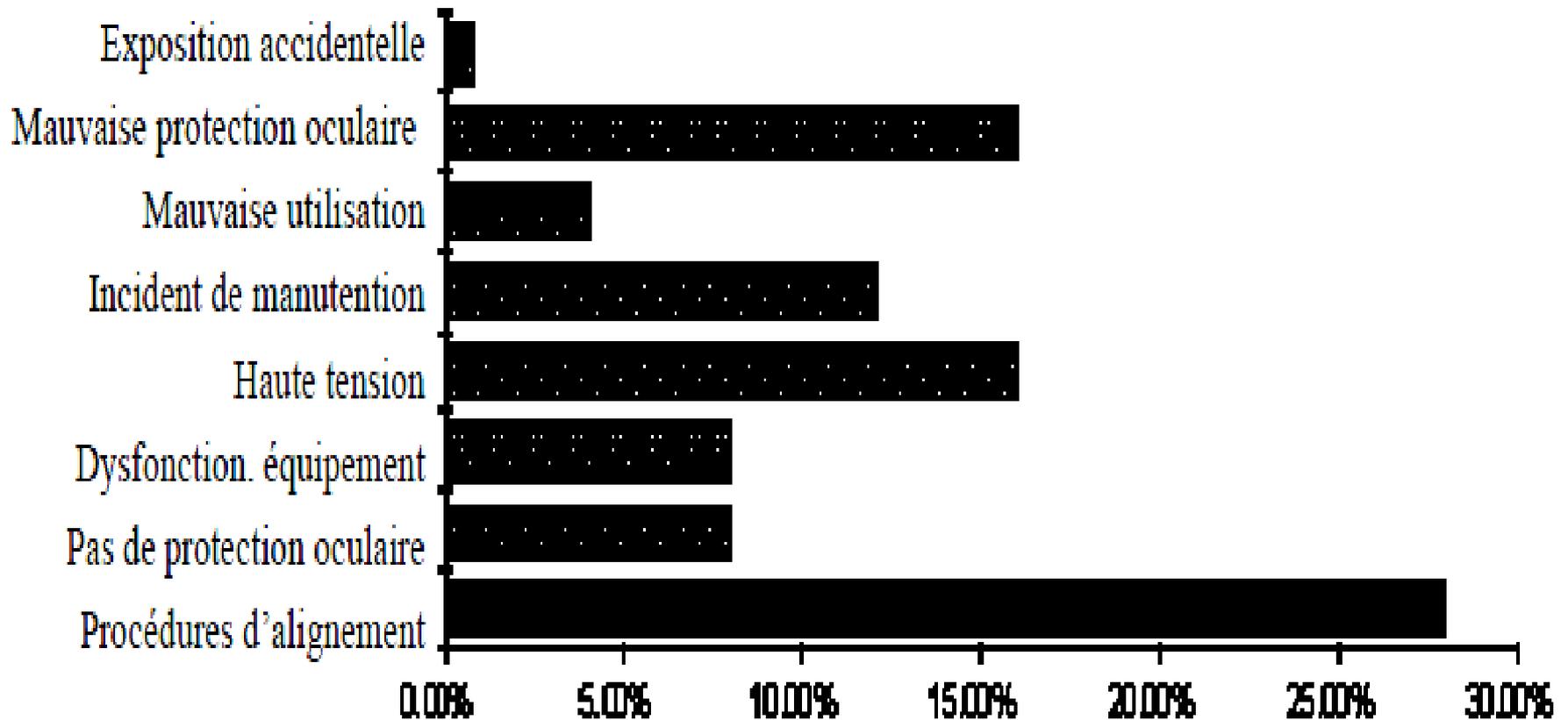


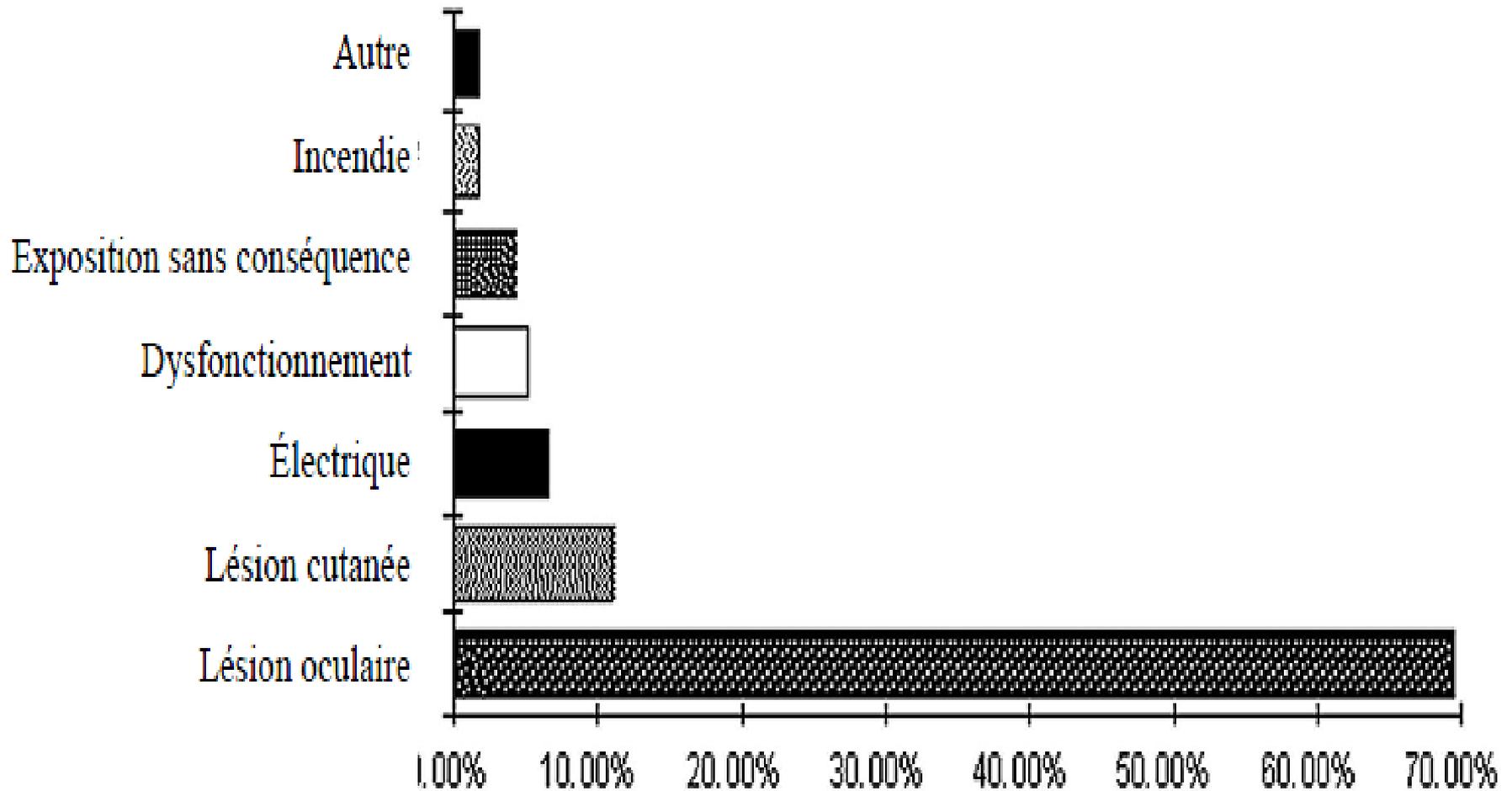
Source: www.rli.com (Rockwell Laser Industries, Inc.)
14 mai 2004

LE LASER – LES ACCIDENTS / STATISTIQUES



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





► Directive 2006 / 25 / CE

> Agents Physiques

► Texte français:

> DECRET 2010-750 du 2/07/2010

> CdT : art R4452-1 à R4452-31

► Normes :

> NF EN 60825-1 : SECURITE des APPAREILS à LASER

> NF EN 207 : PROTECTION INDIVIDUELLE DE L'ŒIL

> NF EN 208 : LUNETTES DE PROTECTION POUR REGLAGE

- ▶ **DECRET 2010-750 du 2/07/2010 relatif à la protection des travailleurs contre les risques du aux rayonnements optiques artificiels**
 - > Art R 4452-2 : suppression ou à défaut réduction des risques
 - Par des mesures de prévention à la source
 - Responsabilité de l'employeur
 - > Art R 4452-3 : information des travailleurs exposés
 - > Art R 4452-4 : réduction des risques fondée sur les principes généraux de prévention L 4121-2

► **DECRET 2010-750 du 2/07/2010 relatif à la protection des travailleurs contre les risques du aux rayonnements optiques artificiels**

> **Evaluer les risques / VLE (LASER : annexe 2)**

- **A partir de données documentaires et techniques**
- **Si pas possible...**
 - **Par CALCUL**
- **Si pas possible...**
 - **Par des MESURES au poste de travail**
 - **Si mesures : les refaire tous les 5 ans**

> **Si possibilité de dépassement des VLE : l'employeur détermine les mesures :**

de PREVENTION, de FORMATION et de SUIVI MEDICAL (dossier individuel avec FICHE D'EXPOSITION)

► **DECRET 2010-750 du 2/07/2010 :**

> Risques associés aux rayonnements

Longueur d'onde [nm] λ	Région du spectre	Organe atteint	Risque	Tableaux dans lesquels figurent les valeurs limites d'exposition
180 à 400	UV	œil	lésion photochimique et lésion thermique	2.2, 2.3
180 à 400	UV	peau	érythème	2.4
400 à 700	visible	œil	lésion de la rétine	2.2
400 à 600	visible	œil	lésion photochimique	2.3
400 à 700	visible	peau	lésion thermique	2.4
700 à 1 400	IRA	œil	lésion thermique	2.2, 2.3
700 à 1 400	IRA	peau	lésion thermique	2.4
1 400 à 2 600	IRB	œil	lésion thermique	2.2
2 600 à 10^6	IRC	œil	lésion thermique	2.2
1 400 à 10^6	IRB, IRC	œil	lésion thermique	2.3
1 400 à 10^6	IRB, IRC	peau	lésion thermique	2.4

LE LASER – LA REGLEMENTATION

► DECRET 2010-750 du 2/07/2010 : VLE – expo < 10 s

Longueur d'onde ^a [nm]		Diaphr anne	Durée [s]											
			$10^{-13} - 10^{-11}$	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^1$					
UVC	180 - 280	pour 1,5 · t 0,3 ≤ t ≤ 10,5	$E = 3 \cdot 10^{10} \text{ W m}^{-2}$ voir note ^c						$H = 30 \text{ J m}^{-2}$ H = 40 J m ⁻² si t < 2,6 · 10 ⁻⁹ alors H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} J m ⁻² voir note ^d H = 60 J m ⁻² si t < 1,3 · 10 ⁻⁸ alors H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} J m ⁻² voir note ^d H = 100 J m ⁻² si t < 1,0 · 10 ⁻⁷ alors H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} J m ⁻² voir note ^d H = 160 J m ⁻² si t < 6,7 · 10 ⁻⁷ alors H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} J m ⁻² voir note ^d H = 250 J m ⁻² si t < 4,0 · 10 ⁻⁶ alors H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} J m ⁻² voir note ^d H = 400 J m ⁻² si t < 2,6 · 10 ⁻⁵ alors H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} J m ⁻² voir note ^d H = 630 J m ⁻² si t < 1,6 · 10 ⁻⁴ alors H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} J m ⁻² voir note ^d H = 10 ³ J m ⁻² si t < 1,0 · 10 ⁻³ alors H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} J m ⁻² voir note ^d H = 1,6 · 10 ³ J m ⁻² si t < 6,7 · 10 ⁻³ alors H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} J m ⁻² voir note ^d H = 2,5 · 10 ³ J m ⁻² si t < 4,0 · 10 ⁻² alors H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} J m ⁻² voir note ^d H = 4,0 · 10 ³ J m ⁻² si t < 2,6 · 10 ⁻¹ alors H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} J m ⁻² voir note ^d H = 6,3 · 10 ³ J m ⁻² si t < 1,6 · 10 ⁰ alors H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} J m ⁻² voir note ^d					
UVB	280 - 302													
	303													
	304													
	305													
	306													
	307													
	308													
	309													
	310													
	311													
	312													
	313													
	314													
UVA	315 - 400													
Visibl eset	400 - 700	$H = 1,5 \cdot 10^{-4} C_E \text{ J m}^{-2}$	$H = 2,7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} C_E \text{ J m}^{-2}$	$H = 5 \cdot 10^{-3} C_E \text{ J m}^{-2}$	$H = 18 \cdot t^{0,75} C_E \text{ J m}^{-2}$									
IRA	700 - 1 050	$H = 1,5 \cdot 10^{-4} C_A C_E \text{ J m}^{-2}$	$H = 2,7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} C_A C_E \text{ J m}^{-2}$	$H = 5 \cdot 10^{-3} C_A C_E \text{ J m}^{-2}$	$H = 18 \cdot t^{0,75} C_A C_E \text{ J m}^{-2}$									
	1 050 - 1 400	$H = 1,5 \cdot 10^{-3} C_C C_E \text{ J m}^{-2}$	$H = 2,7 \cdot 10^{-3} t^{0,75} C_C C_E \text{ J m}^{-2}$	$H = 5 \cdot 10^{-2} C_C C_E \text{ J m}^{-2}$		$H = 90 \cdot t^{0,75} C_C C_E \text{ J m}^{-2}$								
IRB et IRC	1 400 - 1 500	$E = 10^{12} \text{ W m}^{-2}$	voir note ^c	$H = 10^3 \text{ J m}^{-2}$		$H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J m}^{-2}$								
	1 500 - 1 800	$E = 10^{13} \text{ W m}^{-2}$	voir note ^c	$H = 10^4 \text{ J m}^{-2}$										
	1 800 - 2 600	$E = 10^{12} \text{ W m}^{-2}$	voir note ^c	$H = 10^3 \text{ J m}^{-2}$		$H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J m}^{-2}$								
	2 600 - 10 ⁹	$E = 10^{11} \text{ W m}^{-2}$	voir note ^c	$H = 100 \text{ J m}^{-2}$	$H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J m}^{-2}$									

► DECRET 2010-750 du 2/07/2010 : VLE PEAU

Longueur d'onde ^a [nm]		Diaphragme limite	Durée [s]					
			$< 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^1$	$10^1 - 10^3$	$10^3 - 3 \cdot 10^4$
UV (A, B, C)	180-400	3,5mm	$E = 3 \cdot 10^{10} [\text{W m}^{-2}]$		Voir limites d'exposition de l'œil			
Visible et IRA	400-700	3,5mm	$E = 2 \cdot 10^{11} [\text{W m}^{-2}]$	$H = 200 C_A$ [J m ⁻²]	$H = 1,1 \cdot 10^4 C_A t^{0,25}$ [J m ⁻²]	$E = 2 \cdot 10^3 C_A [\text{W m}^{-2}]$		
	700-1400		$E = 2 \cdot 10^{11} C_A [\text{W m}^{-2}]$					
IRB et IRC	1400-1500	3,5mm	$E = 10^{12} [\text{W m}^{-2}]$	Voir limites d'exposition de l'œil				
	1500-1800		$E = 10^{13} [\text{W m}^{-2}]$					
	1800-2600		$E = 10^{12} [\text{W m}^{-2}]$					
	$2600-10^6$		$E = 10^{11} [\text{W m}^{-2}]$					

- ▶ **LES VLE du DECRET sont issues des EMP de la Directive**
 - > EMP = Exposition Maximale Permise
- ▶ **DIFFICULTE D'EVALUER L'EXPOSITION AU POSTE DE TRAVAIL**
 - > MOYENS DE CALCULS ET DE MESURE
 - > COMPETENCES SPECIALISEES



AUTRE APPROCHE : **LEA**

LEA = LIMITES D'EMISSION ACCESSIBLE

LEA :

- ▶ **HIERARCHISATION DE LA DANGEROUSITE DU RAYONNEMENT ACCESSIBLE PAR L'UTILISATEUR DANS LES CONDITIONS D'UTILISATION**
- ▶ **NORME NF EN 60825-1**
- ▶ **LES LEA sont dérivées des EMP**
- ▶ **CONDUISENT A LA CLASSIFICATION DES LASER**
- ▶ **CALCULEE PAR LE FABRIQUANT**

▶ CLASSIFICATION :

▶ De 1 à 4 : Dangersité croissante

▶ AVANT Juillet 2005 : 5 CLASSES : 1 ; 2 ; 3A ; 3B ; 4

▶ APRES Juillet 2005 : 7 CLASSES : 1 et 1M ; 2 et 2M ; 3R et 3B et 4

▶ A LA DEFINITION DES CLASSES EST ASSOCIEE :

> OBLIGATION D'INFORMATION DE L'UTILISATEUR

> ETIQUETTAGE (CONSIGNES DE SECURITE) SUR L'APPREIL ET SUR LE LIEU DE TRAVAIL

► NORME EN 60825 – 1 : CLASSIFICATION

Norme EN 60825-1
Norme initiale, applicable
depuis le 05/07/1994

Norme EN 60825-1/A2
Norme amendée,
applicable depuis le 05/07/2005

Norme EN 60825-1
Janv. 2008, applicable
à partir du 01/09/2010

Classe 1

Lasers qui sont sans danger dans toutes les conditions d'utilisation raisonnablement prévisibles.

Classe 1

Lasers qui sont sans danger dans des conditions d'utilisation raisonnablement prévisibles, y compris l'utilisation d'instruments optiques pour la vision dans le faisceau.

Classe 1 - M

Laser émettant dans la gamme des longueurs d'onde de 302,5 nm à 4 000 nm, qui sont sans danger dans des conditions d'utilisation raisonnablement prévisibles, mais pouvant être dangereux si l'utilisateur emploie une optique dans le faisceau.

Deux conditions s'appliquent :

a) Pour des faisceaux divergents, si l'utilisateur place les composants optiques à moins de 100 mm de la source pour concentrer (collimater) le faisceau

ou

b) Pour un faisceau collimaté, avec un diamètre supérieur au diamètre spécifié dans le tableau 10 de la norme pour les mesures de l'éclairement énergétique ou de l'exposition.

► NORME EN 60825 – 1 : CLASSIFICATION

Norme EN 60825-1
Norme initiale, applicable
depuis le 05/07/1994

Norme EN 60825-1/A2
Norme amendée,
applicable depuis le 05/07/2005

Norme EN 60825-1
Janv. 2008, applicable
à partir du 01/09/2010

Classe 2

Lasers qui émettent un rayonnement visible dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm.

La protection de l'œil est normalement assurée par les réflexes de défense comprenant le réflexe palpébral.

Classe 2

Lasers émettant un rayonnement visible dans la gamme des longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm pour lesquels la protection de l'œil est normalement assurée par les réflexes de défense comprenant le réflexe palpébral.

Cette réaction peut être attendue de manière à assurer une protection appropriée dans des conditions d'utilisation raisonnablement prévisibles, y compris l'utilisation d'instruments optiques pour la vision dans le faisceau.

Note : à l'extérieur de la gamme des longueurs d'onde de 400 à 700 nm, il est exigé que toutes les autres émissions des lasers de classe 2 soient inférieures à la Limite d'Émission Accessible (LEA) de la classe 1.

Classe 2 - M

Laser émettant un rayonnement visible dans la gamme des longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, pour lesquels la protection de l'œil est normalement assurée par les réflexes de défense comprenant le réflexe palpébral.

Cependant, la vision de la sortie peut être plus dangereuse si l'utilisateur emploie une optique dans le faisceau.

Deux conditions s'appliquent :

a) Pour des faisceaux divergents, si l'utilisateur place des composants optiques à moins de 100 mm de la source pour concentrer (collimater) le faisceau
ou

b) Pour un faisceau collimaté, avec un diamètre supérieur au diamètre spécifié dans le tableau 10 de la norme pour les mesures de l'éclairement énergétique ou de l'exposition.

► NORME EN 60825 – 1 : CLASSIFICATION

Norme EN 60825-1
Norme initiale, applicable
depuis le 05/07/1994

Norme EN 60825-1/A2
Norme amendée,
applicable depuis le 05/07/2005

Norme EN 60825-1
Janv. 2008, applicable
à partir du 01/09/2010

Classe 3A

Lasers qui sont sans danger pour la vision de l'œil nu.

Pour les lasers qui émettent un rayonnement visible dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, la protection de l'œil est normalement assurée par les réflexes de défense comprenant le réflexe palpébral.

Pour les autres longueurs d'onde le risque pour l'œil nu n'est pas supérieur à celui de la classe 1.

La vision directe dans le faisceau de laser de la classe 3A à l'aide d'instruments optiques [par exemple : jumelles, télescopes, microscopes] peut être dangereuse.

Classe 3R

Lasers émettant dans la gamme des longueurs d'onde de 302,5 nm à 10⁶ nm où la vision directe dans le faisceau est potentiellement dangereuse ; mais le risque est inférieur à celui présenté par les lasers de la classe 3B et moins de prescriptions de fabrication et de mesures de contrôle pour l'utilisateur ne s'appliquent que pour des lasers de la classe 3B.

La Limite d'Émission Accessible (LEA) est de cinq fois la LEA de la classe 2 dans la gamme des longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm et de cinq fois la LEA de la classe 1 pour les autres longueurs d'onde.

► NORME EN 60825 – 1 : CLASSIFICATION

Norme EN 60825-1
Norme initiale, applicable
depuis le 05/07/1994

Norme EN 60825-1/A2
Norme amendée,
applicable depuis le 05/07/2005

Norme EN 60825-1
Janv. 2008, applicable
à partir du 01/09/2010

Classe 3B

Lasers dont la vision direct
du faisceau est toujours dangereuse.
La vision de réflexions diffusées
est normalement sans danger.

*Note : les conditions de la vision sans
danger de réflexions diffusées de lasers
de la classe 3B à rayonnement visible
sont : la distance minimale de vision
de 13 cm entre l'écran et la cornée,
et la durée maximale de vision de 10 s.
D'autres conditions de vision demandent
une comparaison de l'exposition
à la réflexion diffuse avec l'exposition
maximale permise (EMP).*

Classe 3B

Lasers normalement dangereux lorsque l'exposition directe au faisceau
se présente (c'est-à-dire dans la DNRO).
La vision de réflexions diffusées est normalement sans danger.

*Note : les conditions de la vision sans danger de réflexions diffusées de lasers
de la classe 3B à rayonnement visible sont : distance minimale de vision
de 13 cm entre l'écran et la cornée, et la durée maximale de vision de 10 s.
D'autres conditions de vision demandent une comparaison de l'exposition
à la réflexion diffuse avec l'exposition maximale permise (EMP).*

► NORME EN 60825 – 1 : CLASSIFICATION

Norme EN 60825-1
Norme initiale, applicable
depuis le 05/07/1994

Norme EN 60825-1/A2
Norme amendée,
applicable depuis le 05/07/2005

Norme EN 60825-1
Janv. 2008, applicable
à partir du 01/09/2010

Classe 4

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.

Classe 4

Lasers 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.

► **NORME EN 60825 – 1 : Recommandations prescrites ou non en fonction de la CLASSE**

> **RECOMMANDATIONS POUR LE CONSTRUCTEUR**

- **Capot de protection**
- **Verrouillage de sécurité des capots**
- **Commande à clé**
- **Avertisseur d'émission**
- **Etc..**

> **RECOMMANDATIONS APPLICABLES PAR L'UTILISATEUR**

- **Désignation d'un RESPONSABLE de SECURITE LASER**
- **Indicateur d'émission**
- **Panneaux avertisseurs**
- **Protection de l'œil et vêtements de protection**
- **Etc...**

► **Pour en savoir plus : INRS ED 6071 (2010)**

> e

- ▶ **SI L'ANALYSE DES RISQUES CONDUIT A UN EVENTUEL
DEPASSEMENT DES VLE**

- ▶ **MISE EN ŒUVRE DES MOYENS DE PREVENTION ET DE
PROTECTION**
 - > PROTECTION COLLECTIVE

 - > PROTECTION INDIVIDUELLE

► PROTECTIONS COLLECTIVES

> OBJECTIF :

- **MAITRISE DU FAISCEAU** ou de ses **REFLEXIONS**
- **PROTECTION** : des utilisateurs du laser, des autres travailleurs, des entreprises extérieures, des visiteurs

> MISE EN ŒUVRE de:

- **PANNEAUX, ECRANS , CLOISONS**
 - Transparents (pas à la longueur d'onde du laser) ou Opaques
- **TUBAGE DU FAISCEAU**

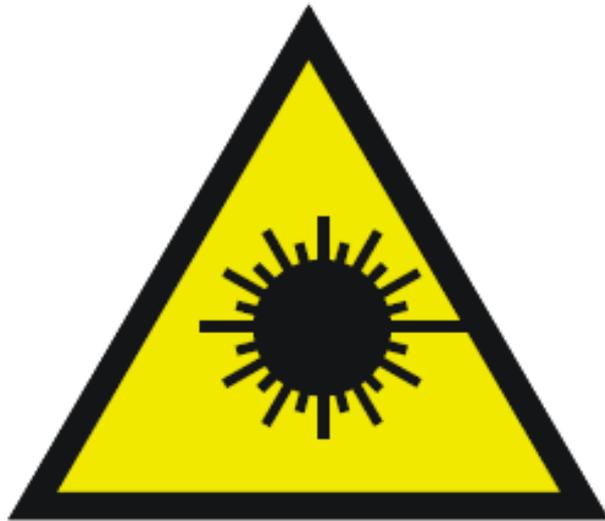
- **ATTENTION AUX MATERIAUX** : doivent résister aux Températures élevées et aux longueurs d'ondes impulsionsnelles

► PROTECTIONS COLLECTIVES / AMENAGEMENT

- > PEINTURE MAT ou TRES PEU BRILLANTE
- > ECLAIRAGE SUFFISANT : 500 LUX mini
 - OUVERTURE DE LA PUPILLE
- > MATERIAUX NON INFLAMMABLE ou TRES PEU
- > RIDEAUX ou PANNEAUX LIMITANT LE LIEU DE TRAVAIL
- > PANNEAUX ou ECRANS DEVANT LES FENETRES
- > INTERPHONE
- > LASER ET ACCESSOIRES BIEN FIXE
- > FAISCEAU NON ORIENTE VERS LES PORTES ou FENETRES

► PROTECTIONS COLLECTIVES / AMENAGEMENT

- > SIGNAL LUMINEUX A L'EXTERIEUR DE LA ZONE LASER
- > SIGNAL LUMINEUX ou SONORE : TIR LASER
- > AFFICHAGE A L'ENTREE DU LOCAL ou ZONE LASER



► PROTECTIONS COLLECTIVES / AMENAGEMENT

> ETIQUETTE AUX OUVERTURES / FAISCEAU



- > HAUTEUR DU FAISCEAU DIFFERENTE DE HAUTEUR DES YEUX
- > HAUTEUR DES ECRANS INFORMATIQUE > HAUTEUR FAISCEAU (1,54 m)

► PROTECTIONS COLLECTIVES / AMENAGEMENT

- > PAS DE SURFACES REFLECHISSANTES : BIJOUX , OUTILS..
- > APPAREILS DE MESURE PLACES A L'OPPOSE DU FAISCEAU
- > UTILISATION DE CAMERA
- > VENTILATION / AERATION SI PRODUITS TOXIQUES
- > CONTACTS DE SECURITE COUPANT L'ENERGIE SUR LES CAPOT et TUBAGES DE PROTECTION
- > ENCEINTE AUTOUR DES BATTERIES DE CONDENSATEURS ou DES TUBES FLASH
- > SIGNALISATION DE LA HAUTE TENSION
- > OBTURATEUR DE FAISCEAU
- > PAS DE CABLES ELECTRIQUES AU SOL / SOL DEGAGE

► PROTECTIONS INDIVIDUELLE : OCCULAIRE

> MARQUAGE SUR LE COTE DES LUNETTES : EN 207 (1998)

> Ex : **D 630 – 700 L8 CE XX**

1 2 3 4 5

> 1 : TYPE DE LASER :

- D : LASER CONTINU $t > 0,25 \text{ s}$
- I : LASER A IMPULSIONS $> 10^{-6} \text{ à } 0,25 \text{ s}$
- R : LASER A IMPULSIONS GEANTES $> 10^{-9} \text{ à } 10^{-6} \text{ s}$
- M : LASER A IMPULSIONS $< 10^{-9} \text{ s}$
- A COUPLAGE DE MODE

► NF EN 207 (1998)

- > 2 : LONGUEUR D'ONDE FILTREE
- > 3 : NUMERO D'ECHELON (tableau B1)
 - Laser continu D : Il faut connaitre E : Eclairment Energétique (W/m²)
 - Laser impulsion I et R : connaitre H : Densité d'énergie du faisceau (J/m²)
 - Laser impulsion M : connaitre P ($\lambda < 400$ nm) ou H
 - ECHELONS : L1 à L8 (le plus protecteur)
- > 4 : FABRIQUANT
- > 5 : CERTIFICATION : ex : CE

► NF EN 207 : Amendement de 2002

630 – 700 D L8 XX

► PROTECTION OCCULAIRE

- > Disposer les lunettes près de l'entrée du local LASER
- > Prévoir plusieurs paires – VISITEURS
- > Bien entretenir les lunettes – Rangement dans un étui
- > **ATTENTION SI PLUSIEURS LASER**
 - Lunettes différentes – Bien les distinguer

► NE JAMAIS REGARDER VOLONTAIREMENT LE FAISEAU ou UNE REFLEXION

- ▶ **SUIVRE UNE FORMATION et ETRE INFORME DES RISQUES**
- ▶ **NE PAS GARDER L'ŒIL DNS LE FAISCEAU**
- ▶ **PORTER LES VETEMENTS DE PROTECTION**
- ▶ **ATTENUER LE FAISCEAU DES QUE L'EMISSION MXIMALE N'EST PAS NECESSAIRE (Alignement)**
- ▶ **ALIGNEMENT : UILISER LASER CLASSE 1 ou 2**
- ▶ **MINIMISER LE NOMBRE DE PERSONNES**
- ▶ **PERSONNEL EXPERIMENTE UNIQUEMENT**
- ▶ **RETIRER TOUS LES OBJETS REFLECHISSANTS**
- ▶ **ACCOMPAGNER LES VISITEURS**

- ▶ **BIEN CHOSIR et PORTER LES LUNETTES**
- ▶ **RESPECTER LES REGLES DE SECURITE ELECTRIQUE**
- ▶ **MAITRISER LA MANIPULATION DES SOLVANTS et des COLORANTS**
- ▶ **S'ASSURER QUE PERSONNE N'EST EN DANGER AVANT DE DECLENCHER LE TIR**
- ▶ **CONNAITRE et CONSULTER LE SERVICE MEDICAL EN CAS D'ACCIDENT**
- ▶ **SUBIR UN EXAMEN DU FOND DE L'ŒIL REGULIEREMENT**

MERCI DE VOTRE ATTENTION