université de bretagne occidentale

LIVRET DE PRÉVENTION N°3

LE RISQUE LASER

CHAPITRE 1

LES LASERS ET LEURS EFFETS SUR LA SANTÉ

Mis à jour le 10/06/2011

Pourquoi s'intéresser au risque laser ?

LASER : Light Amplification (by) Stimulated Emission (of) Radiation.

→ Amplification de Lumière par Émission Stimulée de Rayonnements

À l'instar des agents physiques, chimiques ou biologiques, le rayonnement laser présente des risques aux utilisateurs, et notamment des effets cutanés et oculaires. Il est donc important de prendre des mesures de précaution afin d'éviter les risques associés aux rayonnements laser.

La prévention du rayonnement laser passe par la formation et l'information du personnel exposé mais surtout par l'application des consignes de sécurité.

Ce livret se destine donc aux personnels travaillant régulièrement avec une machine laser mais également aux personnels appelés occasionnellement à travailler dessus.

Principaux types de laser et leurs applications

- **Laser Hélium-Néon**

Utilisation : Télémétrie, topographie, métrologie, holographie, impression…

- **Laser YAG Néodyme (Nd:Yag)**

Utilisation : Vaporisation métal, recuits, perçage, soudage, nettoyage, gravure…

- **Laser CO_2**

Utilisation : Découpage, marquage, perçage, soudage, traitement thermique…

- **Laser à excimères**

Utilisation : Impression, marquage, photochimie, spectroscopie, microusinage, nettoyage…

- **Laser diode (ou laser à semi-conducteur)**

Utilisation : télémétrie, lecture de codes-barres, bureautique, audio-vidéo-hifi…

- **Laser à colorant**

Utilisation : Spectrométrie, étude de matériaux…

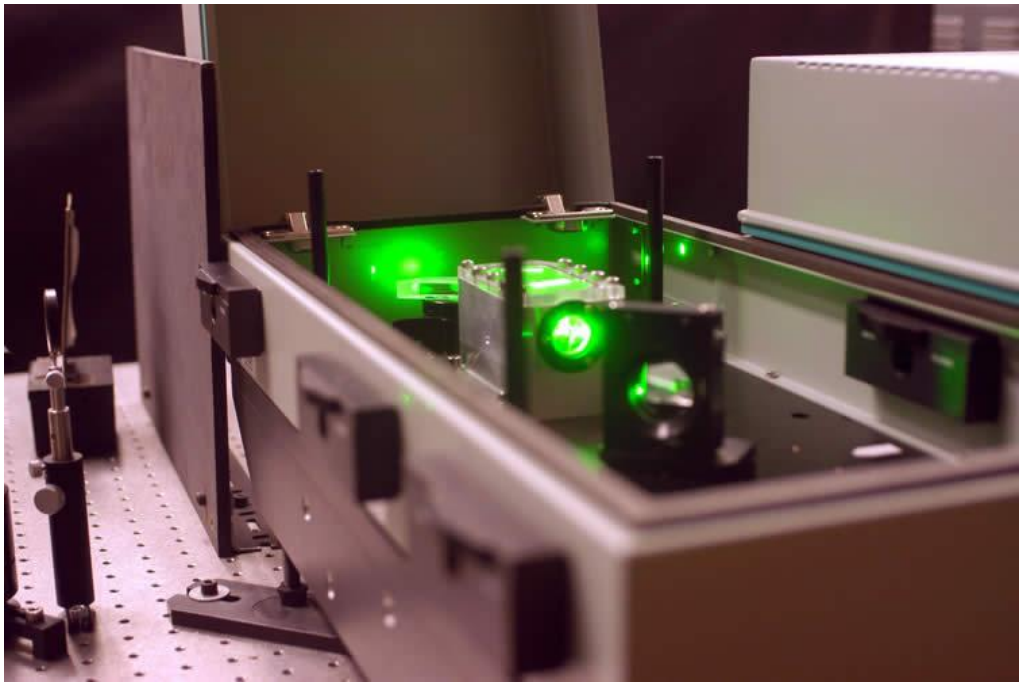
- **Laser chimique**

Utilisation : Domaine militaire…

Cf. Annexes du livret, pages 13 à 17, pour les caractéristiques des différents types de laser.

Exemple de lasers utilisé à l'Université de Bretagne Occidentale

Laser Nd:YAG triplé impulsionnel (La durée des impulsions est de l'ordre de 5 nanosecondes) **associée à un Oscillateur Paramétrique Optique (LYOPO)** et à un étage doubleur permettant une exploration spectrale continue de 222.5 à 1755 nm. La cadence de tir est de dix impulsions par seconde. La largeur spectrale est égale ou inférieure à 0.08 cm^{-1} et la précision spectrale (Répétabilité) est estimée de l'ordre de 5 picomètres. La divergence est inférieure ou égale à 1.5 mrad, et la puissance par impulsion varie selon la longueur d'onde entre 2 et 50 mJ.



Cet équipement permet de développer différents thèmes de recherche sur :

- la fluorescence moléculaire,
- la fluorescence atomique,
- la bio-analytique,
- l'imagerie en lumière cohérente,
- le montage polarimètrique.

Généralités

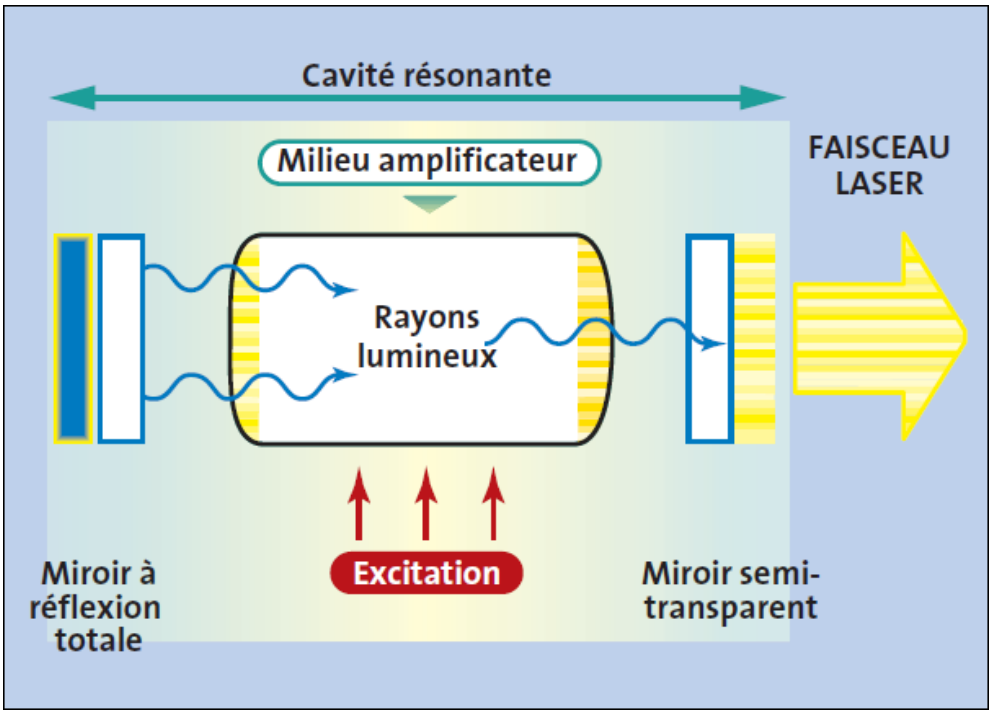


Schéma de la composition d'une source laser

- **Laser** : Dispositif permettant de produire et d'amplifier un rayonnement électromagnétique compris dans la gamme de longueur d'onde allant de l'ultra-violet à l'infrarouge par le phénomène contrôlé d'émission stimulée.

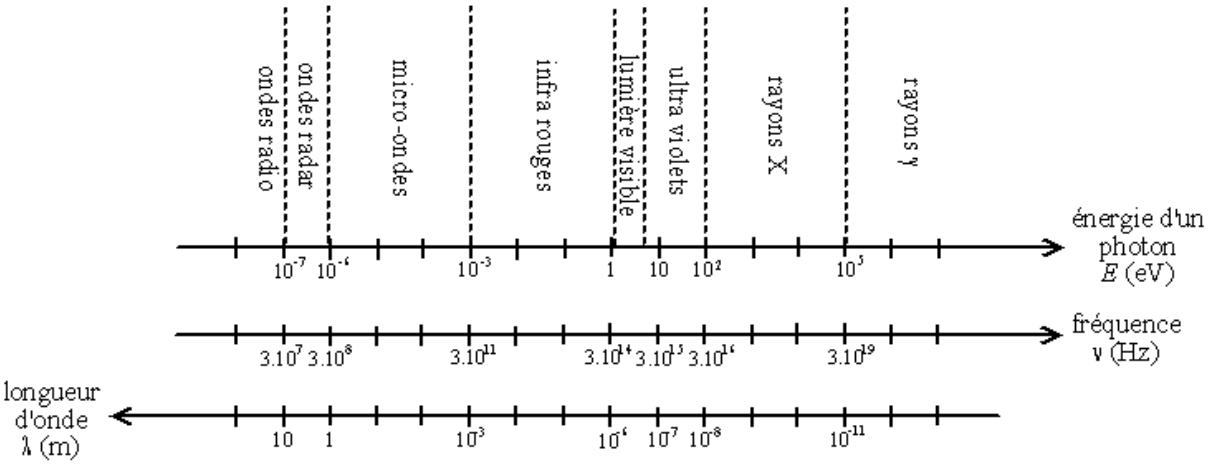
- **Source laser** : Laser associé à une alimentation électrique avec des éventuels dispositifs complémentaires nécessaires à son fonctionnement tels que le refroidissement, le gaz lasant ou le système contrôle-commande de la source.

- **Système laser** : Système comprenant la source laser, le chemin optique et l'optique de focalisation.

- **Machine à laser** : Ensemble comprenant le système laser, le support cible, le dispositif de déplacement de la buse et/ou de la cible, des équipements de chargement du matériau à usiner, les gaz d'apport, le système de contrôle et de commande numérique de la machine à laser.

Caractéristiques du faisceau laser

- **Monochromaticité** : Les photons émis ont la même longueur d'onde λ, la même fréquence ν et véhicule la même énergie E → La lumière émise par un laser est d'une seule couleur.



- **Directivité et divergence** : Le laser se caractérise par une grande directivité et un angle de divergence de l'ordre de 1 mrad, c'est-à-dire que le diamètre du faisceau augmente de 1 mm par mètre de parcours.

- **Cohérence spatiale et temporelle** : Les lasers offrent un degré de cohérence spatial important. Plusieurs mm dans un plan transverse au lieu de quelques nm seulement. Cette propriété permet de concentrer le faisceau laser. Du point de vue de la cohérence temporelle, les ondes sont émises en phase ce qui permet d'obtenir une grande concentration d'énergie, c'est-à-dire, des impulsions énergétiques très courtes.

- **Luminance intense** : Les lasers sont des sources de lumières brillantes et intenses. Nous pouvons même dire qu'un modeste laser hélium-néon de 1 mW est plus brillant que le Soleil.

  Soleil : $L = 1{,}3.10^{7}\ W.m^{-2}.sr^{-1}$

  LASER He-Ne de 1 mW : $L = 10^{9}\ W.m^{-2}.sr^{-1}$

Paramètres physiques liés à l'exposition

Ces paramètres sont variables selon le type de laser utilisé :

- LONGUEUR D'ONDE

Ultra-violet	UV-C UV-B UV-A	100 à 280 nm 280 à 315 nm 315 à 380-400 nm
Visible	-	380-400 à 760-780 nm
Infrarouge	IR-A IR-B IR-C	760-780 à 1400 nm 1400 à 3000 nm 3000 nm à 1 mm

- DIMENSION DE LA SOURCE

On distingue deux types de sources, les **sources ponctuelles ou étendues**.

Le **diamètre apparent (α)** est utilisé afin de marquer la différence entre la vision dans le faisceau et la vision d'une source étendue.

$\alpha < \alpha$ min → Exposition directe

$\alpha > \alpha$ min → Vision d'une source étendue

L'angle α min = 1,5 mrad.

- DURÉE D'EXPOSITION

Type d'émission	Durée d'émission	Paramètres à prendre en compte
Continu	≥ 0,25s	• Exposition chronique ou • Exposition instantanée
Impulsionnel (1 impulsion)	< 0,25 s	
Impulsionnel (Impulsions répétitives)	< 0,25 s	• Durée d'impulsion : t • Fréquence de répétition : F • Durée d'un train d'impulsion T

- ÉNERGIE ET/OU PUISSANCE DE L'ÉMISSION

Mode de fonctionnement du laser	Paramètres à prendre en compte
Continu	Éclairement énergétique E
Impulsionnel	Exposition énergétique H

- NATURE DU FAISCEAU

On distingue :

- l'exposition directe provenant d'un faisceau direct, d'un faisceau focalisé par un système convergent ou divergent,
- l'exposition à une réflexion spéculaire,
- l'exposition à une réflexion diffuse.

Effets sur la santé

- EFFETS CUTANÉS

Dans l'ultra-violet

L'exposition entraîne des rougeurs et des brûlures (Erythèmes) qui peuvent se manifester avec un certain retard.

Les longueurs d'onde les plus actives sont celles situées entre 250 et 320 nm.

De 320 à 400 nm, nous observons en plus des brûlures, une excitation de la pigmentation de la peau.

Dans le visible et l'infrarouge proche

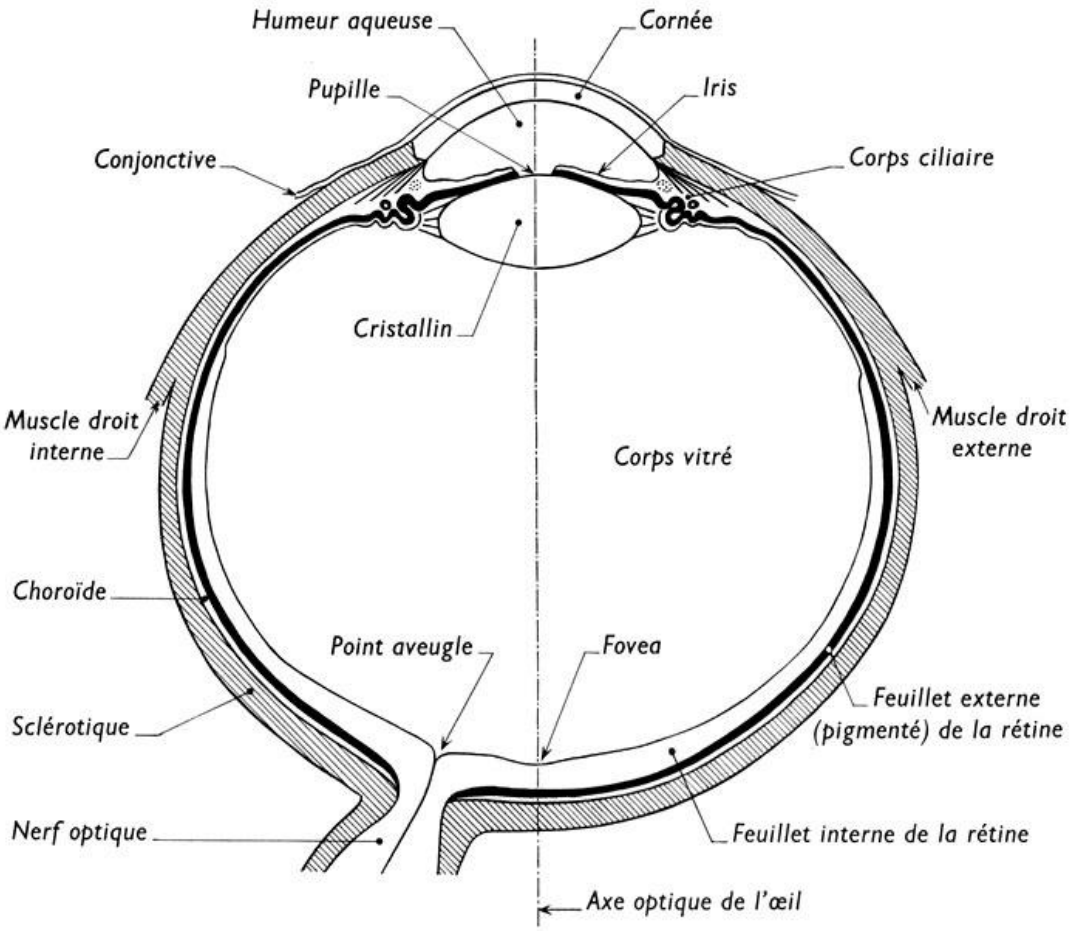
Les lésions cutanées du type rougeurs, picotements, brûlures, carbonisation, surviennent pour des expositions beaucoup plus importantes que celles observées pour l'œil.

Dans l'infrarouge lointain

La lésion caractéristique est la brûlure.

Longueur d'onde	Effets
UV-C IR-C	Atteintes artificielles
IR-B IR-A	Échauffements et brûlures au point d'impact
VISIBLE	Brûlures de la peau
UV-B UV-C	Erythèmes

➢ <u>EFFETS OCULAIRES</u>



Dans l'ultraviolet

De 100 à 320 nm, les rayonnements sont absorbés par les milieux transparents, ce qui peut se traduire par des irritations de la conjonctive (Conjonctivite) ou de la cornée (Kératite).

De 320 à 400 nm, il peut se produire des pertes de transparence du cristallin, en cas d'expositions répétées et prolongées (Cataracte).

Dans le visible et le proche infrarouge

De 400 à 700 nm, pour le visible, et de 700 à 1000 nm pour le proche infrarouge, la cornée et le cristallin sont très transparents au rayonnement qui atteint la rétine.

Une densité d'énergie reçue par la rétine suffisante provoque un échauffement des tissus, des brûlures et des lésions de dimensions limitées mais irréversibles.

Ainsi, la destruction de la fovéola visuelle et la brûlure de toute de la fovéa se traduit part une perte de 75% de l'acuité visuelle.

Le rayonnement laser se trouve concentré par le système optique de l'œil sur une très petite surface de la rétine, celle-ci sera endommagée même par des faisceaux de puissance relativement faible.

Dans l'infrarouge

De 700 à 1400 nm, des lésions simultanées de la rétine et du cristallin peuvent coexister.

De 1400 à 3000 nm, les lésions peuvent entraîner une opacification de la cornée.

Tissus	Longueur d'onde	Effets
Cornée	UV-C UV-B UV-A	Kératite
	IR-B IR-C	Brûlure, modification de la courbure
Iris	VISIBLE IR	Migration des pigments, paralysie, nécrose
Cristallin	UV-A UV-B IR-A	Cataracte
Rétine	VISIBLE IR-A	Dépigmentation / Hémorragie Perte de l'acuité visuelle Modification du sens chromatique Modification de l'adaptation

Émission Maximale Permise (EMP)

Les EMP sont les niveaux maximaux de rayonnement laser auxquels les personnes peuvent être exposées sans subir de dommages immédiatement ou à long terme. Les EMP sont établies pour une seule impulsion dont la durée peut varier de la nanoseconde à huit heures.

Lasers	**Modes de fonctionnement**		**EMP**	
			Œil (Vision directe)	**Peau**
HeNe	Continu (t = 0,25s)		25 W/m²	3.10^4 W/m²
CO_2	Continu (t = 10s)		1000 W/m²	1000W/m²
YAG : Nd	Impulsion unique	t = 10 ns	5.10^{-2} J/m²	1000 J/m²
		t = 10 µs	5.10^{-2} J/m²	1000 J/m²
		t = 1 ms	0,51 J/m²	9780 J/m²
Excimère ArF, KrF	Impulsion unique	t = 10 ns	30 J/m²	30 J/m²
		t = 40 ns	30 J/m²	30 J/m²
Excimère XeCl	Impulsion unique	t = 10 ns	56 J/m²	56 J/m²
		t = 40 ns	79 J/m²	79 J/m²

L'exposition au rayonnement laser des personnes doit être aussi faible que possible et inférieure aux EMP.

Limite d'émission accessible (LEA)

La LAE établit le niveau de rayonnement laser admissible en cours de fonctionnement, de l'entretien ou du réglage de l'appareil à laser. La LEA permet de classer les lasers.

Classification des lasers selon la norme NF EN 60825-1 de juillet 1994 (Norme d'origine sur la « Sécurité des appareils à laser, classification des matériels, prescription et guide de l'utilisateur ») :

Classe 1	Dispositif intrinsèquement sans danger par leur conception technique.
Classe 2	Dispositif à faible puissance émettant un rayonnement visible ($400<\lambda<700$nm). La protection de l'œil est normalement assurée par la réaction de défense (Réflexe palpébral). Il y a danger si l'œil est volontairement gardé plus de 0.25s dans le faisceau.
Classe 3A	Dispositif de puissance moyenne. La vision directe dans le faisceau, notamment avec des aides optiques, est dangereuse.
Classe 3B	Dispositif de puissance moyenne. La vision directe dans le faisceau est toujours dangereuse. La lésion cutanée est prévenue par une sensation de picotement ou d'échauffement.
Classe 4	Dispositif de haute puissance. La réflexion peut être dangereuse. Il y a danger pour la peau.

Cette classification s'applique à la source, à l'appareil ou à la machine à laser.

En phase de production normale, la machine à laser doit être de classe 1.

Classification des lasers selon la norme NF EN 60825-1/A2 de janvier 2006 (Norme applicable pour les appareils mis sur le marché depuis cette date)

Classe 1	Lasers qui sont sans danger dans toutes les conditions d'utilisation raisonnablement prévisibles incluant l'utilisation d'instrument d'optique pour la vision directe du faisceau.
Classe 1M	Lasers émettant dans les longueurs d'onde de 302.5 nm à 4000 nm lesquels sont sans danger dans toutes les conditions d'utilisation raisonnablement prévisibles mais peuvent être dangereux si l'utilisateur emploie des optiques dans le faisceau.
Classe 2	Lasers qui émettent un rayonnement visible dans la gamme de longueur 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. Cette réaction peut être attendue pour fournir une protection suffisante dans des conditions d'utilisation raisonnablement prévisible incluant l'utilisation d'instrument d'optique pour la vision directe du faisceau.
Classe 2M	Lasers qui émettent un rayonnement visible dans la gamme de longueur d'onde de 400nm à 700 nm. La protection de l'œil est normalement assurée par les réflexes de défense comprenant le réflexe palpébral. La vision du faisceau peut être dangereuse si l'utilisateur emploie des instruments d'optique dans le faisceau.
Classe 3R	Lasers qui émettent dans les longueurs d'onde de 302.5 nm à 10^6 nm pour lesquels la vision directe du faisceau est potentiellement dangereuse mais le risque est plus faible que la classe 3B, moins d'exigence de fabrication et l'utilisateur applique le contrôle de mesure de la classe 3B.
Classe 3B	Lasers qui sont normalement dangereux pour une vision directe du faisceau. La vision de réflexion diffuse est normalement sans danger.
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.

M : Magnifying optical viewing instruments

R : Reduced ou **R**elaxed

Autres risques liés à l'utilisation des lasers

	Origine	Mesures de prévention
Risque mécanique : Déplacements, manutentions	Obstacles, zones de passage, zones de stockage, poste de travail, manutention manuelle et mécanique	Conception des installations
Risque mécanique : Pression	Fluides de refroidissement, gaz lasants et gaz d'assistance	Conception des installations
Risque chimique	Gaz lasants et gaz d'assistance Polluants et gaz engendrés	Ventilation des locaux de travaux Contrôle d'atmosphère Aspiration locale des vapeurs Étiquetage des produits Port des EPI (Gants, blouse…)
Risque thermique	Chaud Froid	Protection intégrée : - Encagement, capotage Protection collective : - Éloignement - Signalisation, balisage. Protection individuelle : - Gants, vêtements. - Formation, information.
Risque incendie	Echauffement de la cible par le faisceau laser	Mise à disposition d'extincteurs adaptés à la classe de feu.

Autres risques : Risque électrique (Contact « direct » et « indirect »), risques engendrés par les hautes fréquences, par les rayonnements connexes, par le bruit, par les vibrations…

Annexe : Caractéristiques des principaux types de laser

Laser Hélium-Néon

Cavité laser	Enceinte cylindrique en verre
Refroidissement	-
Milieu	Mélange gazeux Hélium-Néon
Longueur d'onde	543 nm – **632,8 nm** – 1117 nm – 1152,3 nm - … - 3391,3 nm
Pompage	Champ électrique (1000 à 20000V)
Fonctionnement	Continu
Puissance	0,5 à 150 mW (Faisceau monomode TEM OO)
Diamètre du faisceau	De l'ordre du mm
Divergence	0,2 à 3 mrad

Laser YAG Néodyme

Cavité laser	Elliptique, dorée				
Refroidissement	Pompage, milieu : Circulation d'eau				
Milieu	Barreau cylindrique Yttrium-Aluminium-Grenat dopé au Néodyme Ions Nd3+ dans structure cristalline Y3Al5O2				
Longueur d'onde	0,94 µm - 1,05 µm - **1,06 µm** - 1,3 µm - 1,7 µm - 2,1 µm				
Pompage	Lampe à arc	Lampe flash (Xe, Kr)			
Fonctionnement	Continu	Pulsé			
		Relaxé	Déclenché	Mode bloqué	Mode synchro.
Énergie d'impulsion	Continu	10 mJ à 100 J			
Durée d'impulsion	Continu	0,2-2 ms	100-700 ns	15 ns	
Fréquence de répétition	Continu	1-500 Hz	20-50Hz	0,2-2 MHz	200-500 MHz
Puissance (Max. ou crête)	5000 W	100 kW	100 kW (t=1µs)	100 MW (t=10ns)	
Diamètre du faisceau	4 à 18 mm ou SLAB (10 x 30mm)				
Divergence	4 à 30 mrad				

Laser CO_2

Cavité laser	1. Tube scellé en verre 2. Flux axial ou longitudinal, lent ou rapide 3. Flux transverse, rapide 4. Guide d'onde à tube scellé fin				
Refroidissement	Air (2) – Eau (1, 2,3) – Huile (2) Échangeur thermique (3)				
Milieu	Mélange gazeux N_2=20% - He=74% - CO_2=6%				
Longueur d'onde	9600 nm – **10600 nm**				
Pompage	Décharge électrique HT Excitation hautes fréquences				
	Type de laser				
	1	2 Lent	2 Rapide	3	4
Fonctionnement	Continu	Continu pulsé	Continu pulsé	Continu pulsé	Continu
Puissance	10 – 50 W	1 – 1000 W	2000 – 6000 W	10000 à 20000 W	1 – 20 W
Diamètre du faisceau	3 – 4 mm	5 – 70 mm	5 – 70 mm	5 – 100 mm	1 – 2 mm
Divergence	1 – 2 mrad	1 mrad	1 – 3 mrad	1 – 3 mrad	0,5 – 10 mrad

Laser à excimères

Cavité laser	Volume 2 litres – Gaz sous pression (> 1atm)		
Refroidissement	Circulation du gaz		
Gaz (moléculaire)	ArF	KrF	XeCl
Longueur d'onde	**193 nm**	**248 nm**	**308 nm**
Pompage	Décharge électrique transverse		
Préionisation	Par décharge électrique transverse		
Fonctionnement	Pulsé		
Énergie impulsion	250 mJ à 10 J		
Durée impulsion	10 à 40 ns		
Fréquence répétition	1 à 500 Hz		
Puissance moyenne	Plusieurs W		
	(0,6 W)	(1,2 W)	(1 W)
Puissance crête	Plusieurs MW max.		
	(7,5 MW)	(7,5 MW)	(7,5 MW)
Diamètre du faisceau	Jusqu'à 5cm x 8cm		
Divergence	1 x 3 mrad		

Laser diode (ou laser à semi-conducteur)

Cavité laser	Jonction entre : - un semi-conducteur type P (Excès de trous) - un semi-conduction type N (Excès d'électrons)	
Refroidissement	Effet Peltier Convection d'air	
Milieu	Région de la jonction Des réseaux de diodes sont utilisés pour augmenter les performances du laser	
Longueur d'onde	Accordable de **400 à 3000 nm** (Dépend du matériau semi-conducteur)	
Pompage	Courant électrique (Quelques ampères)	
Fonctionnement	Continu	Pulsé
Puissance continue ou moyenne	6 kW	
Énergie	-	
Diamètre du faisceau	Faisceau laser en éventail	
Divergence	Élevée (Quelques degrés)	

Laser à colorants

Le milieu actif est composé de molécules organiques présentes dans un solvant liquide. L'excitation se fait soit par lampe flash soit à l'aide d'un autre laser. La longueur d'onde à colorant doit aller de 0,4 à 0,95 µm ; la puissance de quelques milliwatts à quelques watts. Ils fonctionnement en régime continu ou en régime impulsionnel.

Laser chimique

Une fraction de l'énergie libérée dans une réaction chimique exothermique est utilisée sous forme de radiations laser. Le laser FH, le plus puissant, a une longueur d'onde comprise entre 2,6 et 3,6 µm. Sa puissance est de 5kW en continu et jusqu'à 10 kW en impulsionnel.

Références bibliographiques

Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) :

- Les Lasers (ED 5009)
- Rayonnements lasers (ED 6071)

Association Française de Normalisation (AFNOR) :

- NF EN 60825-1/A2 « Sécurité des appareils à laser, classification des matériels, prescription et guide de l'utilisateur »