

Rayonnements lasers

Principe, application, risque et
maîtrise du risque d'exposition

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

Dans le domaine de la prévention des risques professionnels, l'INRS est un organisme scientifique et technique qui travaille, au plan institutionnel, avec la CNAMTS, les CRAM-CGSS et plus ponctuellement pour les services de l'État ainsi que pour tout autre organisme s'occupant de prévention des risques professionnels.

Il développe un ensemble de savoir-faire pluridisciplinaires qu'il met à la disposition de tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, médecin du travail, CHSCT, salariés.

Face à la complexité des problèmes, l'Institut dispose de compétences scientifiques, techniques et médicales couvrant une très grande variété de disciplines, toutes au service de la maîtrise des risques professionnels.

Ainsi, l'INRS élabore et diffuse des documents intéressants l'hygiène et la sécurité du travail : publications (périodiques ou non), affiches, audiovisuels, site Internet... Les publications de l'INRS sont distribuées par les CRAM. Pour les obtenir, adressez-vous au service prévention de la Caisse régionale ou de la Caisse générale de votre circonscription, dont l'adresse est mentionnée en fin de brochure.

L'INRS est une association sans but lucratif (loi 1901) constituée sous l'égide de la CNAMTS et soumise au contrôle financier de l'État. Géré par un conseil d'administration constitué à parité d'un collège représentant les employeurs et d'un collège représentant les salariés, il est présidé alternativement par un représentant de chacun des deux collèges. Son financement est assuré en quasi-totalité par le Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Les Caisses régionales d'assurance maladie (CRAM) et Caisses générales de sécurité sociale (CGSS)

Les Caisses régionales d'assurance maladie et les Caisses générales de sécurité sociale disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service prévention composé d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ils sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, CHSCT, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Ils assurent la mise à disposition de tous les documents édités par l'INRS.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

Rayonnements lasers

Principe, application, risque et
maîtrise du risque d'exposition



Jean-Pierre Servent

L'INRS adresse ses remerciements à la société

SNR Roulements qui a réalisé les photographies de ce document.



SOMMAIRE

- 05 → PRÉAMBULE
- 06 → 1. LES SOURCES LASER
ET LEURS CARACTÉRISTIQUES
- 12 → 2. LES APPLICATIONS
- 18 → 3. LES RISQUES ASSOCIÉS
À UNE EXPOSITION
DE L'ŒIL OU DE LA PEAU
À LA LUMIÈRE LASER
- 22 → 4. LA CLASSIFICATION
DES APPAREILS À LASER
- 26 → 5. PRINCIPE GÉNÉRAL
DE PRÉVENTION
DU RISQUE D'EXPOSITION
AU RAYONNEMENT LASER
ET MISE EN APPLICATION
- 39 → DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE
- 41 → ANNEXES

● PRÉAMBULE

Le présent document est un document d'accompagnement. Il a pour objectif de présenter les fondements techniques des textes réglementaires et des normes en vigueur en matière de sécurité laser, d'en faciliter et d'en illustrer tant la compréhension que l'approche, sans toutefois s'y substituer.

Compte tenu de la diversité des technologies laser, il va de soi que ce document est informatif et non prescriptif.

Pour chaque cas particulier, la sécurité laser mise en œuvre doit faire l'objet d'une appropriation par les différents acteurs, chacun pour ce qui le concerne : concepteurs et responsables de la mise sur le marché d'appareils et de machines à laser, entreprises utilisatrices de ces produits, opérateurs d'exploitation et de maintenance.

1

LES SOURCES LASER

ET LEURS

CARACTERISTIQUES

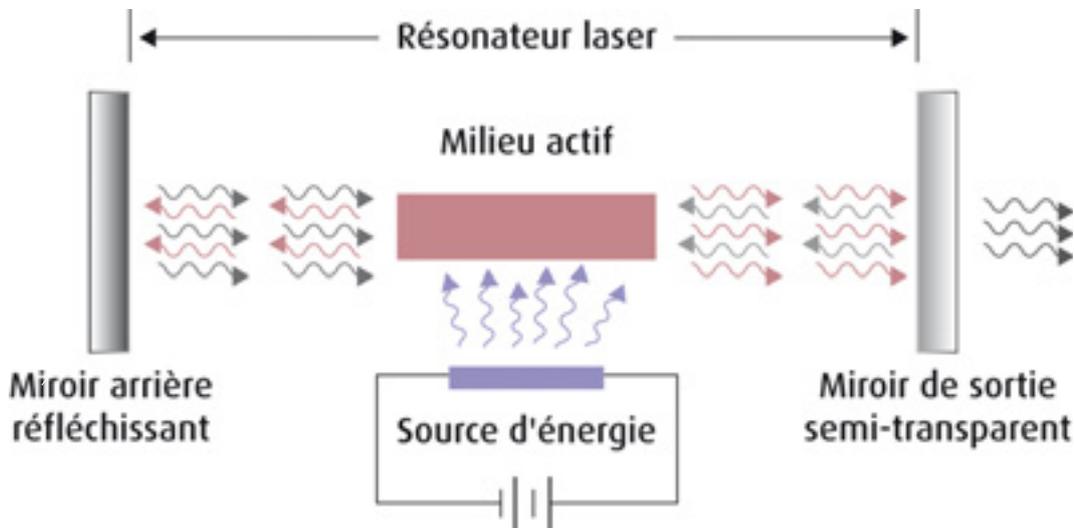


FIGURE 1

➔ Le laser (acronyme pour *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* ou amplification de lumière par émission stimulée) est une source de rayonnements émettant dans le domaine des rayonnements optiques (ultra-violet (UV), visible ou infrarouge (IR)) un faisceau de rayonnement monochromatique (c'est-à-dire ayant une longueur d'onde définie) et cohérent (les ondes qui constituent le faisceau sont en phase).

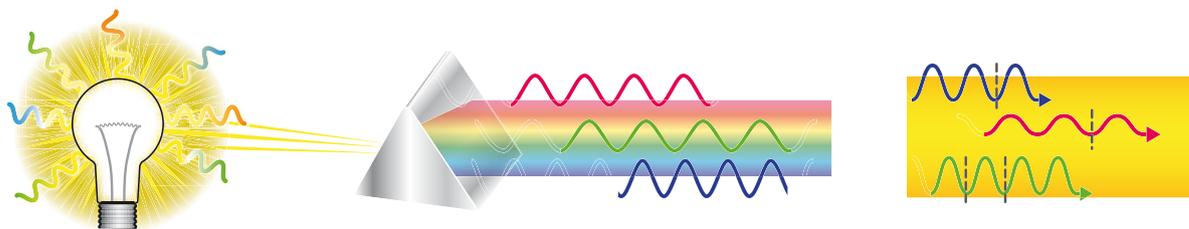
Pour obtenir cet effet, il faut exciter un milieu actif contenant des atomes, des ions ou des molécules, dans des conditions telles qu'ils puissent libérer de l'énergie lumineuse simultanément.

Les conditions de résonance s'établissent en un temps très bref, après quelques allers-retours de la lumière dans une cavité

fermée par deux miroirs, dont l'un est semi-réfléchissant. Le rayonnement laser est émis à travers ce dernier miroir. L'orifice de sortie est ouvert ou fermé par un obturateur de faisceau.

Ce principe est mis en œuvre dans les appareils à laser (ou sources laser), dont le schéma de principe est représenté *figure 1*. Il faut retenir les caractéristiques essentielles de la lumière émise par une source laser :

- elle est pratiquement monochromatique : chacune des émissions d'une source se situe étroitement autour d'une seule longueur d'onde $\lambda \pm \Delta\lambda$,
- elle possède une cohérence temporelle : toutes les ondes émises sont en phase,
- elle possède une cohérence spatiale : le faisceau lumineux émis est un



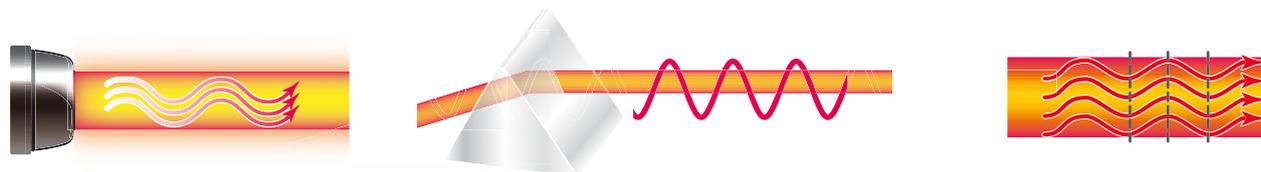
LUMIÈRE NATURELLE

omnidirectionnelle, à partir de la source, comprend des longueurs d'ondes (couleurs) multiples, les ondes ne sont pas en phase

FIGURE 2

LUMIÈRE LASER

directive, monochromatique, les ondes sont en phase



pinceau de lumière très directif et de très faible divergence.

La comparaison entre la lumière naturelle et la lumière laser est illustrée *figure 2*.

Un laser peut être caractérisé en fonction de sa longueur d'onde d'émission, de la nature du milieu matériel excitable (gaz, solide, liquide), du mode d'excitation ou de pompage (haute tension, haute fréquence, lampe flash, lampe à arc, courant électrique, autre laser). La mise en œuvre de l'effet laser nécessite donc des matières et moyens qui peuvent être à l'origine de risques divers : chimique, électrique, électromagnétique, fluides pressurisés, fluides cryogéniques, etc.

Chacun de ces risques doit être pris en compte lors de l'analyse de risque et les mesures particulières les concernant doivent être prises (*voir § V*).

La nature de l'émission laser peut égale-

ment être associée à la caractérisation d'un faisceau laser :

- émission laser continue : lorsque le faisceau lumineux est émis pendant une durée supérieure à 250 ms ;
- émission laser impulsionnelle, réalisée soit par découpage d'une émission continue, soit par émission relaxée (*fig. 3*) : le faisceau émis se présente comme une suite d'impulsions lumineuses, visibles ou non en fonction de la longueur d'onde d'émission ;
- émission laser déclenchée (ou pulsée, ou Q switched¹) (*fig. 3*) : le pompage est impulsionnel, comme dans le cas précédent, mais l'émission d'énergie lumineuse est d'abord contenue puis, lorsqu'elle atteint un certain niveau, elle est libérée en une impulsion unique en un instant très bref (de la femtoseconde à la nanoseconde). La puissance de crête est alors considérable.

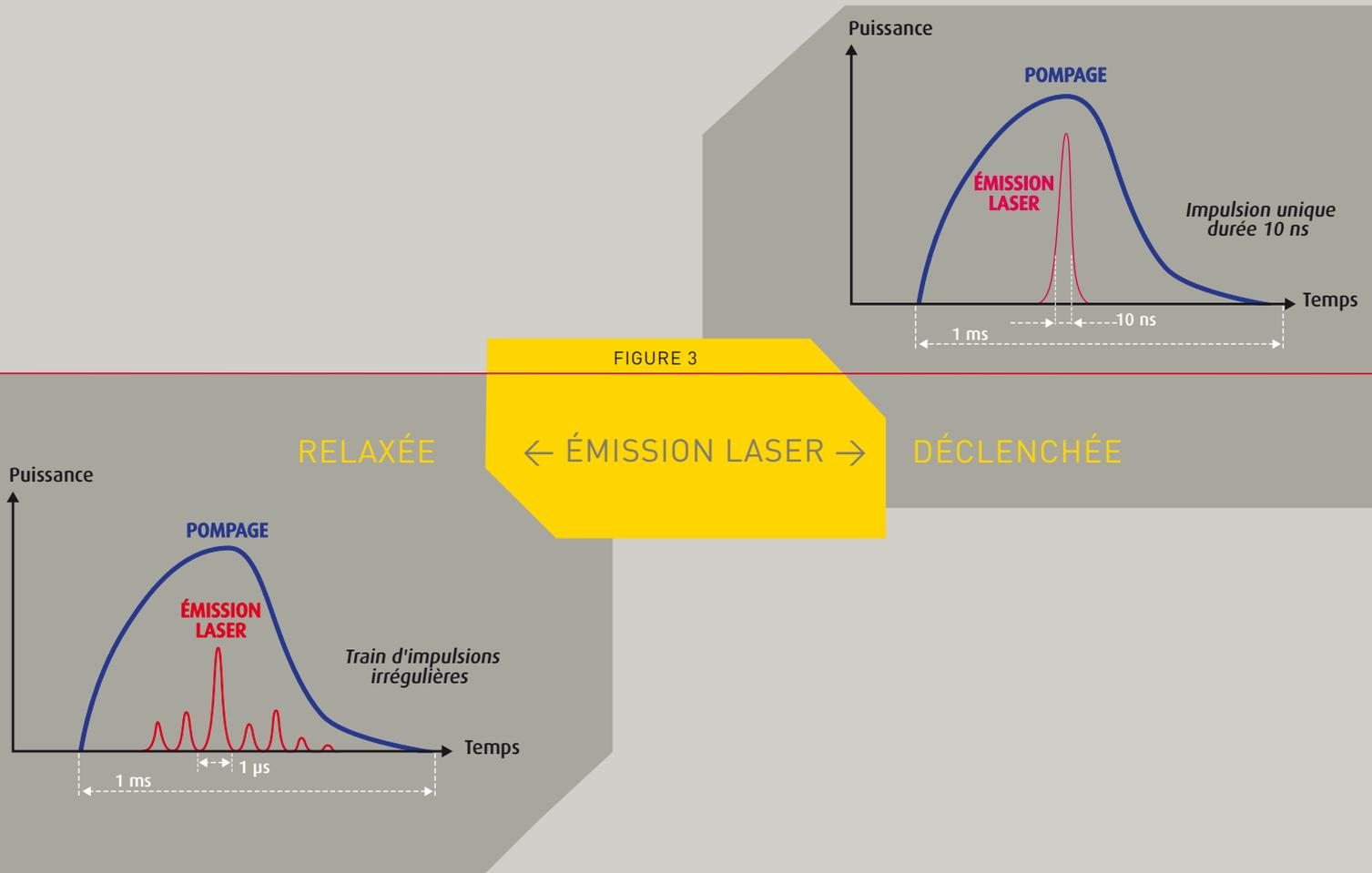


FIGURE 3

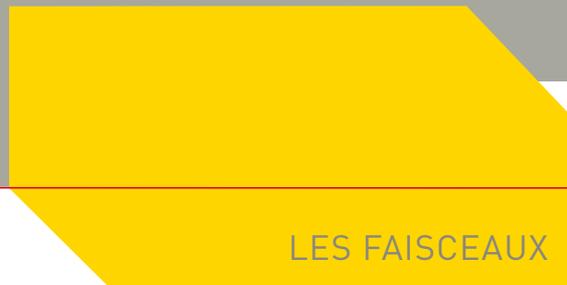
Finalement, les grandeurs qui permettent de caractériser l'émission de la source laser sont :

- la longueur d'onde $\lambda \pm \Delta\lambda$ ($\Delta\lambda$, caractérisant l'écart à la monochromaticité, par principe très faible) ;
- la puissance, P , exprimée en watt (W) dans le cas des lasers continus ;
- dans le cas de l'émission d'une impulsion unique : la puissance de crête de l'impulsion P_p , la durée de l'impulsion t_i et l'énergie contenue dans l'impulsion $Q_i = P_p \times t_i$;
- dans le cas de l'émission de plusieurs impulsions, la période de répétition des impulsions, T_p , permet de déterminer la puissance moyenne $Q_m = Q_i \times t_i / T_p$ de chaque impulsion.
- le nombre d'impulsions N dans un train d'impulsions et la durée T de ce train d'impulsions sont aussi des paramètres à introduire dans les calculs.

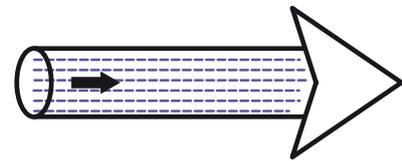
¹ Le Q-Switch est un interrupteur électro-optique piloté par haute fréquence. Il permet de commander le mode d'émission de la cavité en continu ou en mode déclenché en contrôlant la résonance dans la cavité : tant que le Q-Switch est fermé, les conditions de résonance de la cavité ne sont pas réunies alors que le système d'excitation continue de stimuler l'émission de lumière par le milieu lasant. Ainsi l'énergie

lumineuse est accumulée dans la cavité jusqu'à ce que le Q-Switch soit commandé en position ouverte. À cet instant, les conditions de la résonance sont rétablies et le rayonnement laser est émis en impulsion. L'énergie contenue dans une telle impulsion peut être considérable. Dans ce mode, l'émission laser est découpée en impulsions d'énergie, de durée et de rapport cyclique variables suivant la commande haute fréquence.

FIGURE 4



FAISCEAU DIRECT



La répartition du rayonnement laser sur la surface de l'orifice de sortie de la cavité résonante dépend essentiellement du mode d'oscillation de la cavité. Dans le cas où l'énergie électromagnétique est répartie sur cette surface suivant une courbe de Gauss, on dit que l'émission est gaussienne.

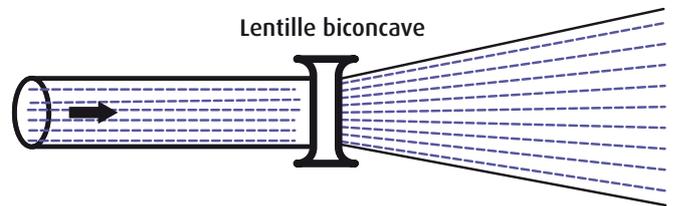
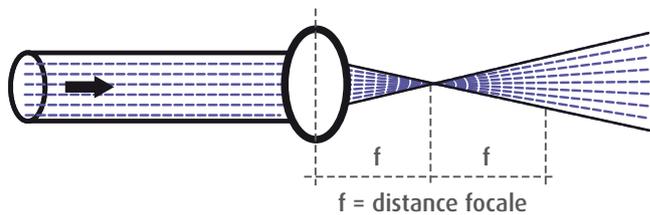
La densité de puissance moyenne dans le faisceau à l'émission, est la puissance du laser divisée par la surface sur laquelle est réparti le rayonnement : P/S . L'unité dérivée pour cette grandeur est donc le W/m^2 .

Dans la pratique, la densité de puissance est extrêmement élevée : son ordre de grandeur est couramment de 10^{11} à $10^{12} W/m^2$ (soit 10 à 100 MW/cm^2). La densité de puissance (pour les lasers continus) et la

longueur d'onde sont les caractéristiques essentielles aussi bien pour le besoin des applications que pour caractériser la dangerosité du faisceau.

Pour les lasers impulsionnels, c'est la densité d'énergie dans une impulsion (en J/m^2) qui, avec la longueur d'onde, sont les caractéristiques essentielles, aussi bien pour le besoin des applications que pour caractériser la dangerosité du faisceau.

Du fait de la propagation et de la divergence du faisceau (en l'absence, sur son trajet, de composants optiques qui auraient pour fonction de le concentrer) la densité de puissance à une distance d de l'orifice de sortie, P/S , diminue progressivement avec la propagation du rayonnement.

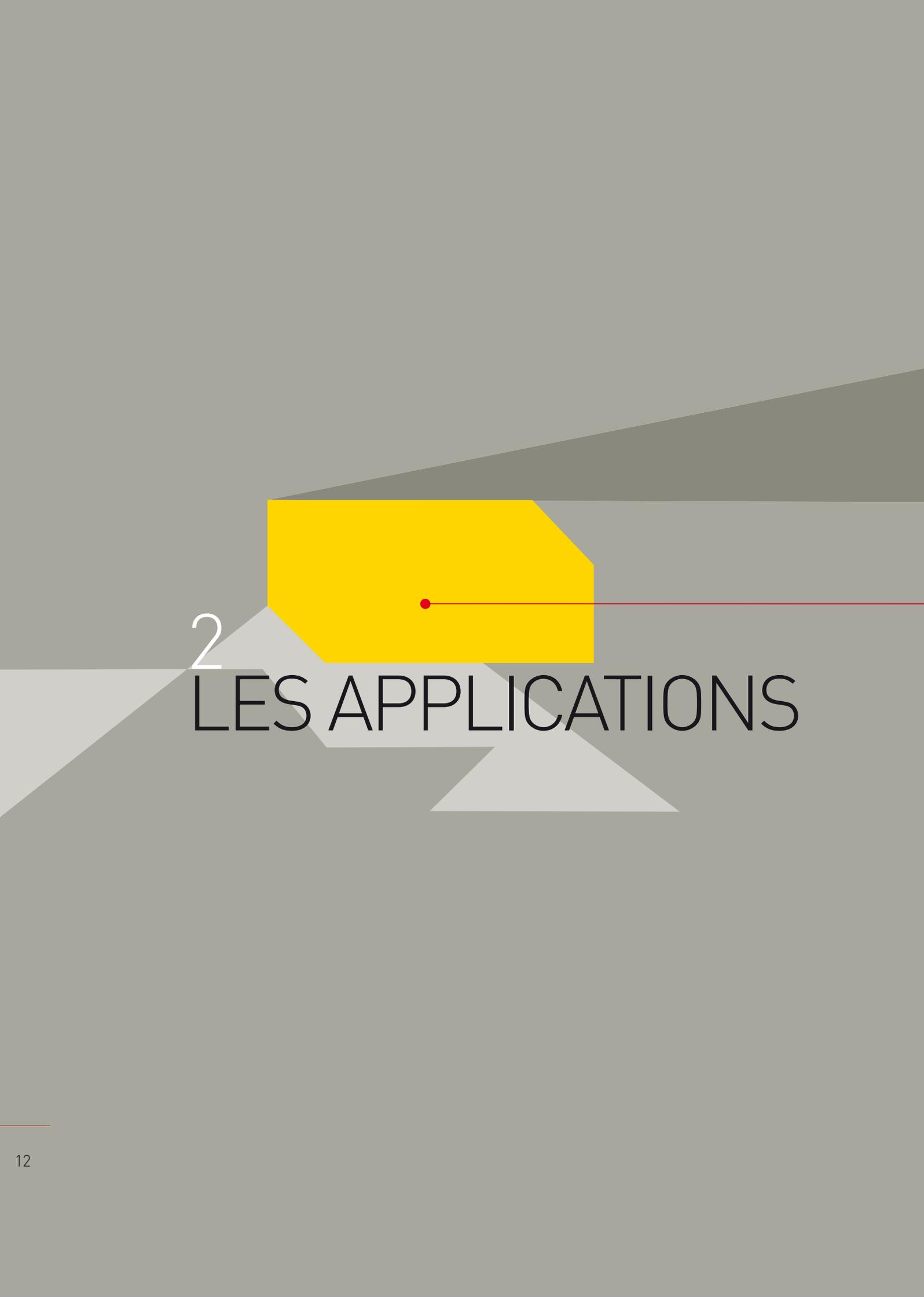


Si on néglige la divergence du faisceau, celui-ci est un pinceau cylindrique (et la densité de puissance reste constante lors de la propagation du faisceau).

Toutefois, l'interposition sur le trajet du faisceau d'une lentille convergente concentre l'énergie lumineuse jusqu'au point focal image, où la densité de puissance est maximale.

Au-delà de ce point, le faisceau diverge et la densité de puissance diminue, et ce d'autant plus que l'on s'éloigne du point focal image. Ce phénomène ne joue efficacement qu'à partir d'un certain éloignement du point de focalisation. L'interposition sur le trajet du faisceau d'une lentille divergente produit le même effet de dilution de l'énergie lumineuse.

Ces phénomènes sont illustrés *figure 4*.

The background features a light gray gradient with several geometric shapes. A prominent yellow polygon is positioned in the upper-middle section. A thin red horizontal line passes through a small red dot located on the right side of the yellow polygon. The number '2' is placed to the left of the main title.

2

LES APPLICATIONS

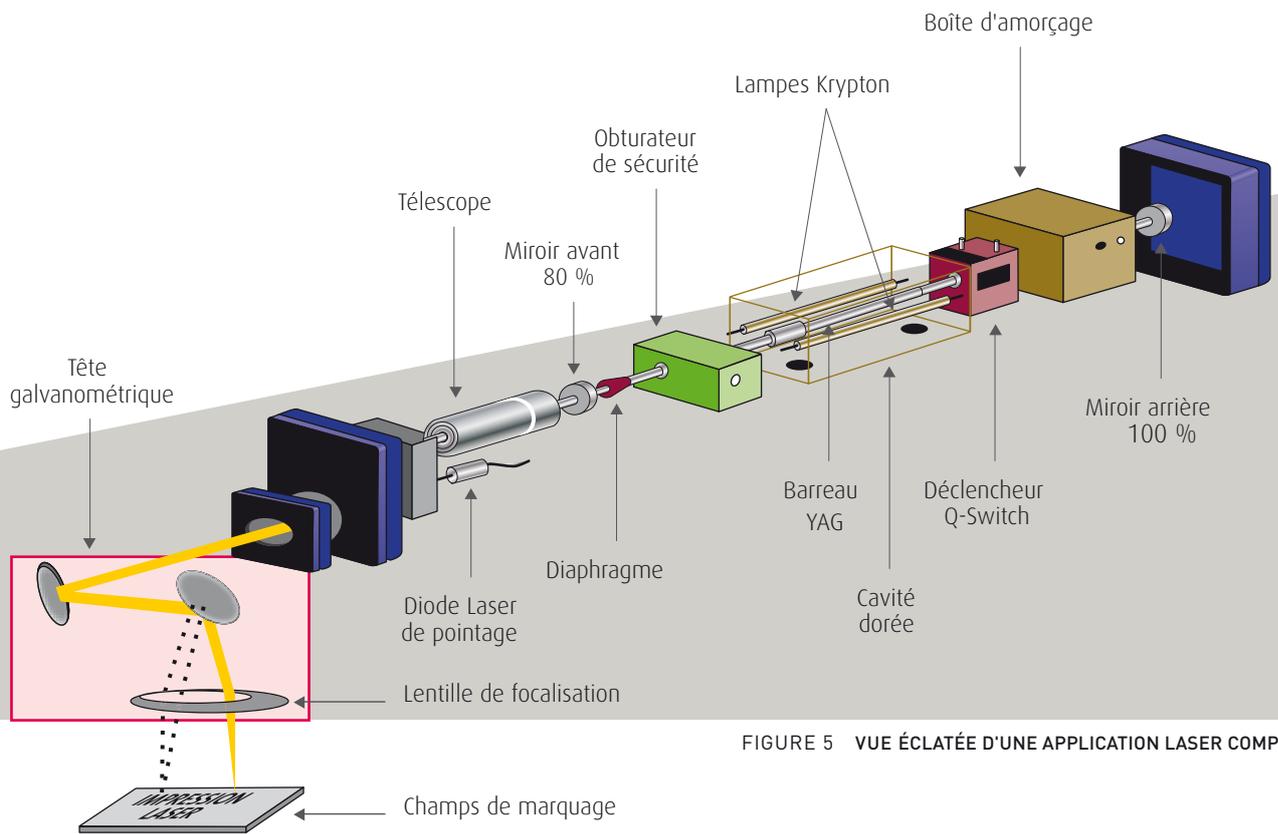


FIGURE 5 VUE ÉCLATÉE D'UNE APPLICATION LASER COMPLÈTE

→ Les applications sont innombrables, tant dans le domaine grand public qu'industriel. Un appareil à laser peut être utilisé seul, en tant que tel (pointeur laser, laser d'alignement, laser pour la transmission de données point à point). Il peut également être incorporé à un autre appareil (par exemple, imprimante laser, lecteur de disque compact) ou encore à une machine (pour des applications industrielles telles que soudage, gravure, marquage, etc.).

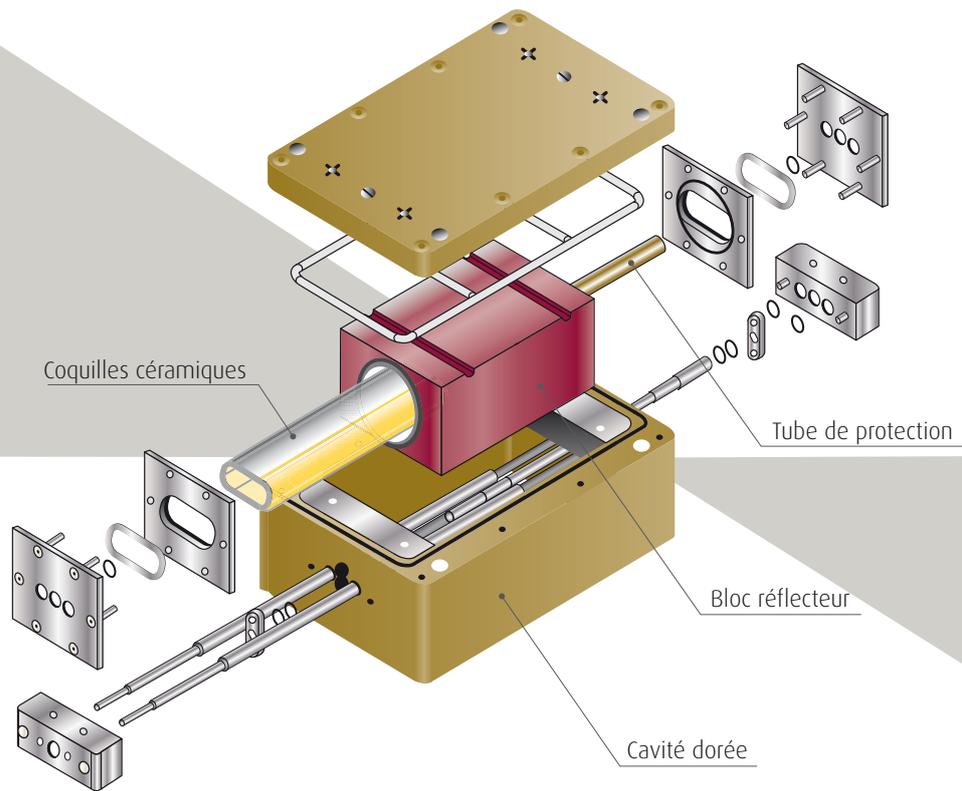
De façon générale, la mise en œuvre d'un appareil à laser pour une application comprend, outre l'appareil à laser, un chemin optique constitué de divers composants [optiques (lentilles, miroirs), obturbateur, interrupteur électro-optique] et une zone de processus dans laquelle le traite-

ment voulu sur un matériau sera réalisé : simple éclairage ponctuel d'une surface dans le cas d'un pointeur laser, polymérisation d'une encre dans le cas d'une imprimante laser, usinage d'un matériau dans le cas d'une machine à laser.

Dans le cas d'une machine à laser, la sortie du faisceau laser sur la zone de processus peut être fixe (et c'est la pièce à traiter qui sera en mouvement contrôlé sous le faisceau) ou bien mobile (et la pièce à traiter reste fixe). Il est très fréquent d'utiliser des miroirs mobiles montés sur un support galvanométrique pour piloter le point d'impact du faisceau laser sur la zone de processus. On parle alors de laser à balayage.

C'est ce dernier exemple, illustré par la figure 5, qui nous servira de trame pour la suite de

FIGURE 6
VUE ÉCLATÉE DE LA CAVITÉ DORÉE



ce document. Le processus réalisé est dans cet exemple un processus de marquage. On reconnaît dans la représentation, schématisée *figure 5*, les différents éléments constitutifs d'une machine à laser :

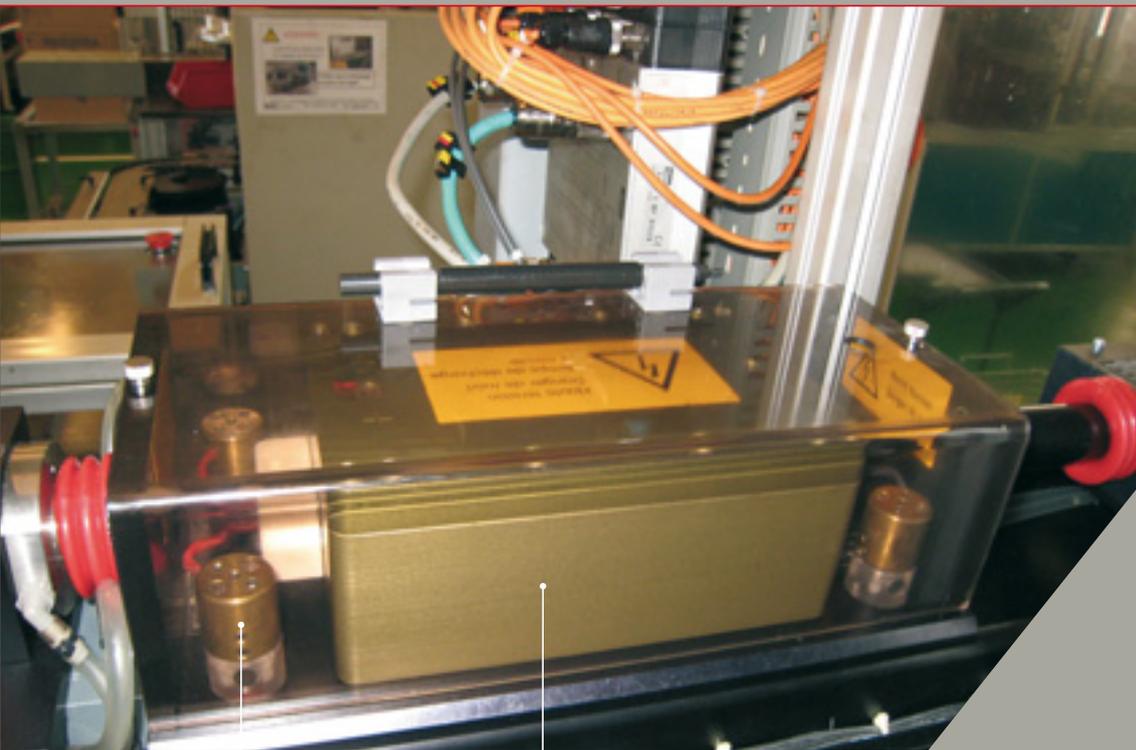
- un appareil à laser (entre le miroir avant semi-transparent et le miroir arrière réfléchissant) comprenant :
 - le milieu lasant, ici un grenat néodyme-yttrium-arseniure de gallium (Nd-YAG),
 - le système d'excitation, ici deux lampes krypton,
 - le dispositif de sélection de mode d'émission du faisceau laser, ici le déclencheur Q-switch ;
- un banc optique (obturateur du faisceau, composants optiques de traitement du faisceau tels que miroir, diaphragme, télescope, lentilles de focalisation, obturateur, etc.) ; la zone de processus de la machine.

Les figures 6 à 10 représentent la réalisation de ces éléments dans la machine prise pour exemple.

Ce sont les caractéristiques de l'émission laser qui conditionnent le calcul et la réalisation des composants de cette chaîne optique. Ces composants doivent être conformes à des normes publiées. Cette étape est essentielle tant pour le fonctionnement de la machine que pour sa sécurité intégrée.

D'autres aspects se rapportent à la sécurité fonctionnelle à la sécurité électrique, à la toxicité de gaz d'apport, à la sécurité liée au mouvement de certaines pièces ou du faisceau laser, au risque d'incendie, etc. Ces aspects recouvrent, à titre d'exemples :

- les chaînes de commande électronique des lampes krypton, du Q-switch, de l'obturateur, des têtes galvanométriques, de la pompe électrique et des électrovannes du



Condensateurs (x4)
d'alimentation
des lampes au
Krypton

Cavité dorée

FIGURE 6 bis

LA CAVITÉ DORÉE CONTIENT :

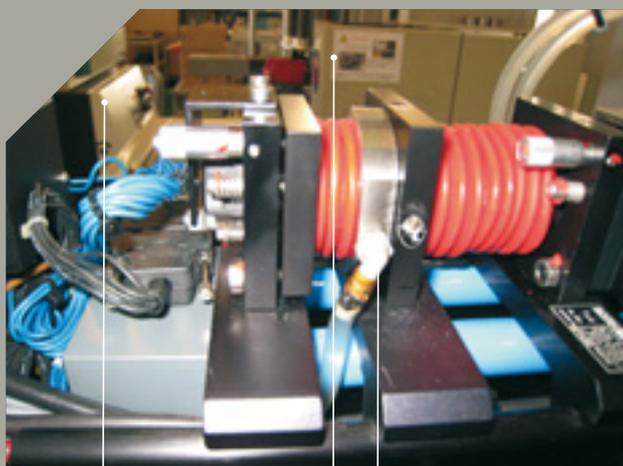
- le barreau constitué d'un grenat d'yttrium et d'arsénium de gallium,
- les lampes au krypton, dont l'émission va stimuler l'émission du grenat Y-AsGa.

On voit les condensateurs, dont la décharge stimule l'émission des lampes au krypton.

FIGURES 7 & 8

VUE SUR QUELQUES COMPOSANTS DU RAIL LASER :

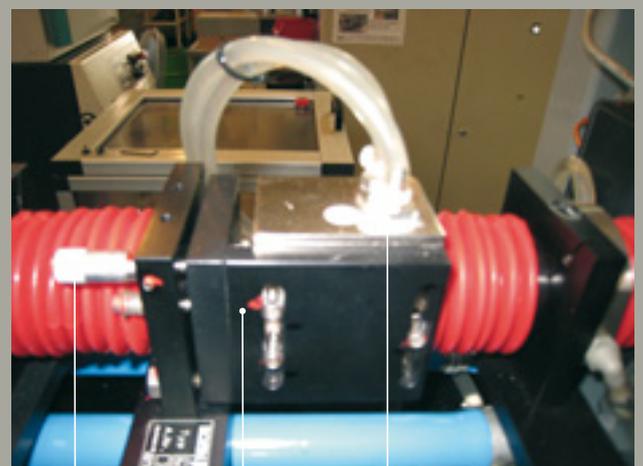
optiques refroidies (on voit l'entrée et la sortie du fluide de refroidissement), vis micrométriques de réglage, soufflets empêchant l'accès au chemin optique.



Banc de commande
et arrêt
d'urgence

Affichage

Circuit de
refroidissement
des optiques



Vis
micrométrique
de réglage

Bloc
optique

Q-switch



FIGURE 9

VUE D'ENSEMBLE
DU RAIL LASER,
VUE DE L'ARRIÈRE.

Q-switch

Miroir arrière

Boîtier d'amorçage

FIGURE 10

AMÉNAGEMENT D'ENSEMBLE
DE LA PARTIE ARRIÈRE
DE LA MACHINE:

appareil à laser, convoyeur
et câblages, équipements
de servitude divers.

Circuit de
refroidissement

Câble
d'alimentation
électrique

Convoyeur



circuit de refroidissement, des éléments mobiles (tête robotisée, miroirs mobiles);

— les circuits de refroidissement de l'appareil à laser (circulation d'un débit commandé de fluide de refroidissement sous pression autour des zones de dissipation thermique); l'apport du gaz lasant dans la cavité laser lorsque le milieu lasant est un gaz (non pertinent dans le cas de l'exemple pris);

— l'apport d'un gaz d'assistance dans la zone de processus (non pertinent dans le cas de l'exemple pris);

— les alimentations électriques;

— les dispositifs de sécurité (contacts de fin de course, commande d'arrêt d'urgence...).

D'autres aspects se rapportent au dégagement de fumées toxiques, à la formation de matériaux pulvérents ou de scories dans la zone de processus.

Il ne saurait être question d'aborder tous ces aspects dans le cadre de ce document qui est centré sur la problématique de l'exposition au rayonnement laser. Il n'en reste pas moins qu'ils doivent en pratique être traités lors de la conception et de l'installation de la machine. Les annexes A et B à la norme NF EN ISO 11553-1 suggèrent quelques pistes à explorer dans cet objectif.

3

LES RISQUES ASSOCIÉS À UNE EXPOSITION DE L'ŒIL OU DE LA PEAU À LA LUMIÈRE LASER

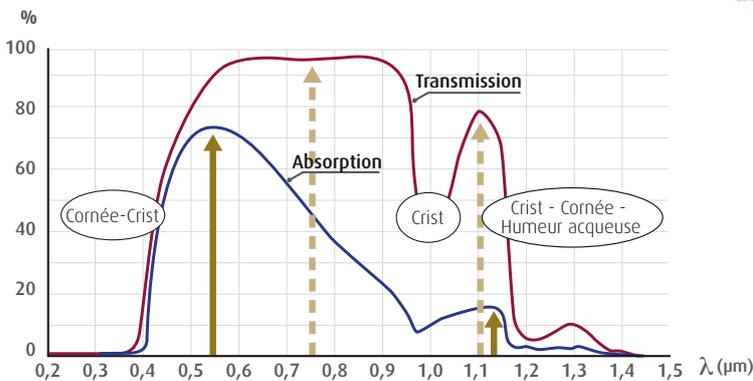


FIGURE 11
Facteurs de transmissions et d'absorption des rayonnements optiques par les milieux optiques de l'œil.

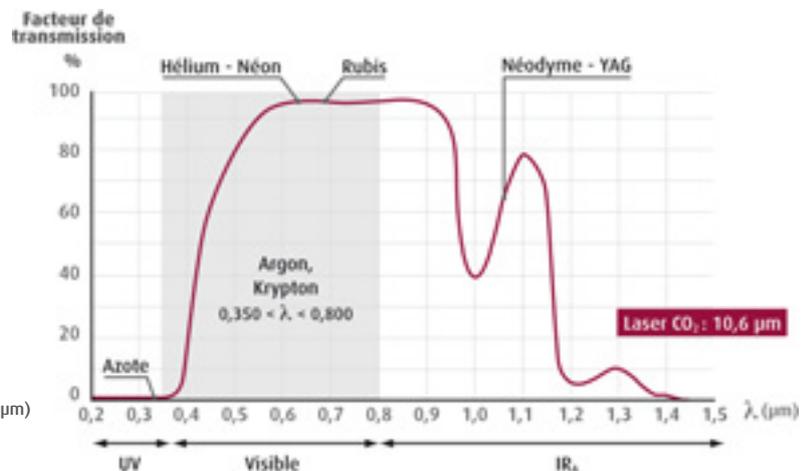


FIGURE 12
Répartition des longueurs d'onde de différents types de lasers.

→ CES RISQUES PEUVENT ÊTRE ASSOCIÉS :

// À la transmission et à l'absorption de l'énergie lumineuse dans les milieux optiques de l'œil

Toutes les longueurs d'ondes ne sont pas équivalentes de ce point de vue, y compris à faible niveau d'intensité lumineuse. La courbe de réponse de l'œil est donnée *figures 11 et 12* en fonction de la longueur d'onde.

Les rayonnements ultraviolets (longueur d'onde entre 180 nm et 400 nm) pénètrent peu dans les milieux optiques de l'œil et donnent lieu à des mécanismes lésionnels qui concernent la partie antérieure de l'œil. Les rayonnements ultraviolets ne sont pas perceptibles. Ils ne constituent donc pas par eux-mêmes un signal d'avertissement de leur présence.

Les longueurs d'onde qui pénètrent le mieux sont, en raison même de l'adaptation de l'œil à la perception de la lumière visible, celles

qui se situent dans la partie visible du spectre des rayonnements optiques, de 400 nm à 780 nm. Lorsque le faisceau est visible, il constitue par lui-même un signal d'avertissement. De plus, un réflexe d'aversion (détournement de la tête, réflexe palpébral) est effectif après une stimulation visuelle de l'œil dans la partie visible du spectre, d'une durée supérieure à 250 ms. Inversement, il faut souligner que ce mécanisme d'auto-protection n'intervient pas pour des durées plus courtes de stimulation.

Les longueurs d'onde situées dans le proche infrarouge (de 780 nm jusqu'à 1 400 nm) pénètrent aussi profondément. Pour cette raison, ces longueurs d'onde sont très dangereuses car, si un tel rayonnement pénètre dans l'œil, les lésions vont concerner les cellules de la rétine. Or, les rayonnements infrarouges ne sont pas perceptibles. Ils ne constituent donc pas par eux-mêmes un signal d'avertissement de leur présence.

// À la concentration de l'énergie lumineuse par les milieux optiques de l'œil

Ces milieux constituent en effet une lentille convergente puissante qui concentre sur la rétine l'énergie lumineuse reçue à la cornée: la densité de puissance sur la rétine est 10^5 à 10^6 fois plus importante que celle entrant à la cornée.

// À la dissociation (photolyse) de certaines molécules ou de chaînes polymérisées constitutives des milieux biologiques

Ce phénomène est lié à l'énergie du photon aux longueurs d'ondes des rayonnements vert, bleu et UV. Il est d'autant plus marqué que l'énergie du photon est élevée, croissant du vert vers l'ultraviolet. Il peut concerner tous les tissus biologiques exposés, en l'occurrence la peau ou l'œil et dans ce dernier cas, le cristallin ou la rétine en particulier.

// Aux mécanismes de diffusion de la chaleur lorsque le rayonnement traverse un milieu biologique (œil ou peau)

Ces mécanismes sont essentiellement de deux ordres distincts :

— lorsque le dépôt d'énergie thermique par le rayonnement est faible, la chaleur déposée est transmise aux tissus proches et la lésion occasionnée s'étend progressivement. Ce phénomène conduit à des lésions par brûlure lorsque le débit d'énergie thermique est plus important ;

— lorsque l'apport de chaleur se déroule en un temps très bref (cas de l'exposition des tissus biologiques à un rayonnement laser impulsif), l'augmentation de température soudaine entraîne une onde de choc thermomécanique. L'augmentation soudaine de la pression des fluides intracellulaires entraîne leur vaporisation et l'explosion des cellules. Une déformation irréversible est induite sur les tissus voisins qui ne sont pas détruits.

// D'autres mécanismes lésionnels plus complexes

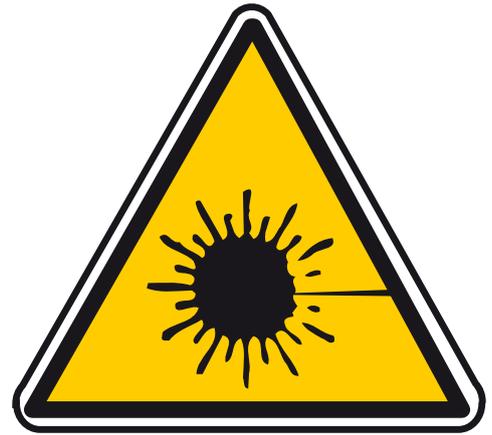
Les risques pour l'œil et pour la peau sont résumés dans le tableau ci-contre. La directive 2006/25/CE «Rayonnements optiques artificiels», prescrit les limites d'exposition pour tous les risques liés aux rayonnements optiques cohérents et non cohérents.

// RISQUES ASSOCIÉS AUX RAYONNEMENTS

LONGUEUR D'ONDE (nm)	RÉGION DU SPECTRE	ORGANE ATTEINT	RISQUE
180 à 400	UV	œil	lésion photochimique et lésion thermique
180 à 400	UV	peau	éryhème
400 à 700	visible	œil	lésion de la rétine
400 à 600	visible	œil	lésion photochimique
400 à 700	visible	peau	lésion thermique
700 à 1400	IRA	œil	lésion thermique
700 à 1400	IRA	peau	lésion thermique
1400 à 2600	IRB	œil	lésion thermique
2600 à 10 ⁶	IRC	œil	lésion thermique
1400 à 10 ⁶	IRB, IRC	peau	lésion thermique

4

LA CLASSIFICATION
DES APPAREILS
À LASER



EMP

// LES EXPOSITIONS MAXIMALES PERMISES

→ L'analyse fine des phénomènes décrits précédemment a permis d'élaborer les tableaux des expositions maximales permises (EMP) pour l'œil et pour la peau. On se reportera à la directive 2006/25/CE pour les données numériques précises concernant ces EMP. Il faut simplement noter à ce stade, que les EMP dépendent de nombreux facteurs d'influence: longueur d'onde, angle apparent sous lequel est vue la source lumineuse, durée de la stimulation lumineuse, densité de puissance ou densité d'énergie dans le faisceau et, comme cela a déjà été

mentionné, de la nature du tissu exposé. Les valeurs des EMP étant fixées par la directive 2006/25/CE «Rayonnements optiques artificiels», on pourrait concevoir, a priori, que la maîtrise du risque laser soit basée sur l'évaluation de l'exposition au poste de travail. Cette approche est toutefois complexe et doit être réservée, dans la pratique, à la validation de conditions d'intervention très spécifiques. Elle impose la mise en œuvre de moyens de calcul et/ou de mesure ainsi que des compétences particulières. ■

LEA

// LES LIMITES D'ÉMISSION ACCESSIBLE

Compte tenu de la complexité de l'évaluation des EMP sur les lieux de l'utilisation, il s'est avéré nécessaire de développer une autre approche pour la maîtrise du risque d'exposition au rayonnement laser.

Cette approche consiste à hiérarchiser la dangerosité du rayonnement accessible à l'opérateur, dans les conditions d'utilisation.

La norme NF EN 60825-1 développe cette approche. Les limites d'émission accessibles (LEA) sont déduites des EMP sur la base de conditions de mesure normalisées qui simulent trois conditions théoriques d'exposition de l'œil :

- Condition 1 : exposition à un faisceau collimaté pour laquelle l'utilisation de jumelles ou d'un télescope peut augmenter le danger.
- Condition 2 : exposition à un faisceau divergent pour laquelle l'utilisation d'une loupe ou d'un microscope peut augmenter le danger.

— Condition 3 : applicable pour une vision à l'œil nu et aux faisceaux à balayage.

Les calculs et les mesures optiques correspondantes nécessitent les compétences techniques particulières des laboratoires spécialisés des constructeurs d'appareils à laser ou d'organismes de contrôle technique.

Cependant, et d'un point de vue pratique, la mesure des LEA d'un appareil à laser conduit à la définition de classes de dangerosité, depuis les appareils les moins dangereux (classe 1) jusqu'aux plus dangereux (classe 4). La classe affectée finalement à un appareil à laser par son constructeur est toujours la plus restrictive, résultant des évaluations réalisées suivant la méthodologie de la norme.

Le tableau de l'*annexe 1* présente la définition de ces classes, telle qu'en vigueur depuis juillet 2005, sur la base de la publication de la norme NF EN 60825-1/A2 pour les appareils à laser mis sur le marché depuis

cette date, ainsi que la définition antérieure qui résultait de la norme NF EN 60825-1, publiée en 1994.

À la définition des classes est associée une obligation d'information de l'utilisateur, par la notice fournie par le constructeur de l'appareil, et une obligation d'affichage de consignes de sécurité non interprétables sur une étiquette apposée sur l'appareil à laser, mais aussi sur les lieux de travail où le laser est exploité.

Les deux classifications, sont assez proches l'une de l'autre : cependant, les appareils mis sur le marché avant juillet 2005 ne doivent pas faire l'objet d'une révision de leur classification selon la norme NF EN 60825-1/A2.

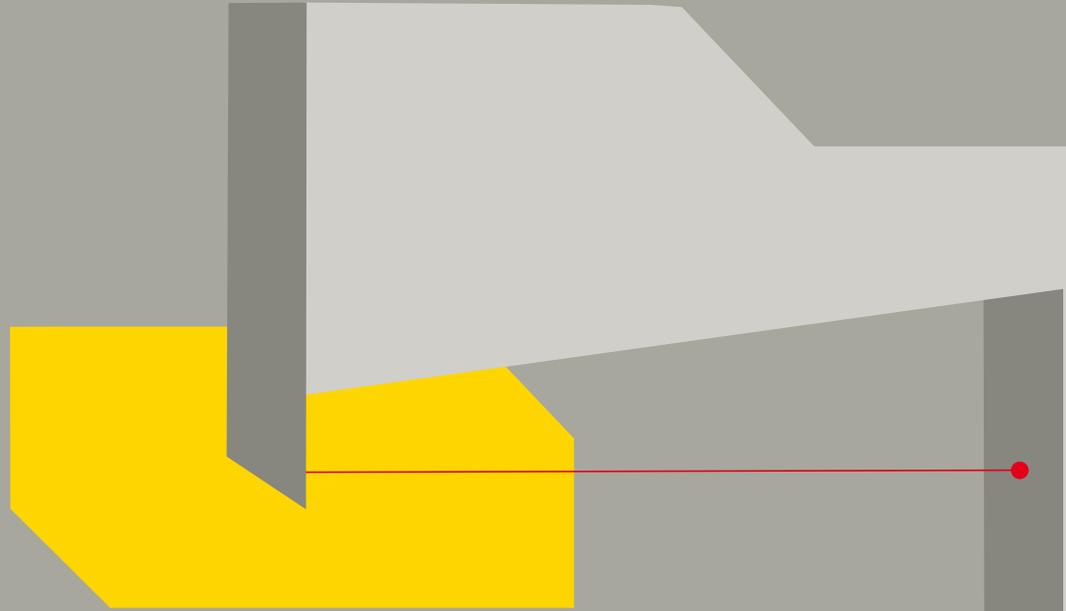
L'article de D. Courant et coll. permet de comprendre les raisons de cette évolution de la classification ².

Une application, dont la classe de dangerosité est définie, peut contenir un appareil à laser, dont la classe de dangerosité est plus élevée. Si une opération (notamment de maintenance) est susceptible de donner accès au rayonnement le plus dangereux, les conditions de l'intervention doivent être définies pour permettre de maîtriser au

mieux ce risque d'exposition (*voir § 6*), et l'opérateur doit être préalablement informé et formé à ces conditions d'intervention. Il convient de rappeler que la maintenance des équipements de travail est une condition de leur sécurité. Toutefois, il est fréquent qu'une intervention de maintenance nécessite l'accès à des zones dangereuses et, à ce titre, doit être préparée en détail. De plus, une telle intervention doit être accompagnée ou suivie des contrôles qui permettent de s'assurer que l'équipement de travail est rétabli dans un état conforme à sa définition. Seules les opérations de maintenance autorisées par le constructeur, et décrites dans la documentation de l'appareil à laser ou de la machine à laser, doivent être réalisées par l'entreprise qui exploite cet appareil ou cette machine.

Enfin, la norme NF EN 60825-1/A2 présente, en matière de mise en œuvre de dispositifs de sécurité, des recommandations applicables tant par le constructeur que par l'utilisateur d'un appareil à laser (*voir annexes 2 et 3*). Des recommandations similaires sont publiées dans la norme NF EN 60825-1 de 1994, pour les lasers correspondant à l'ancienne classification. ■

² D. Courant, C. Chapan et coll Rayonnement laser : risques oculaires et normes de protection. *Radioprotection*, 2000, vol. 35, n° 4, p. 443-456.



5

PRINCIPE GÉNÉRAL
DE PRÉVENTION
DU RISQUE
D'EXPOSITION
AU RAYONNEMENT
LASER ET MISE
EN APPLICATION

// PRINCIPE GÉNÉRAL

Le fait qu'un opérateur, et plus encore l'œil d'un opérateur, puisse être impacté par un faisceau laser, correspond généralement à une logique d'accident.

En effet, le faisceau laser étant très étroit et très directif, la probabilité pour qu'un tel événement se produise est faible dans des conditions normales de travail, qui doivent être définies de telle sorte que l'accessibilité partielle ou totale d'un opérateur aux zones balayées par le faisceau laser ne soit pas possible. L'occurrence de cet événement relève pratiquement d'une problématique « tout ou rien ».

La gravité du dommage résultant d'un tel événement est bien sûr fonction de la classe de dangerosité du laser. Elle dépend aussi du point d'impact (œil ou peau), des caractéristiques exactes du faisceau au moment

de l'impact, des conditions d'incidence du faisceau lors de l'impact, de la durée de l'exposition, du fait qu'il s'agit d'un rayonnement impulsionnel ou non, etc. Au niveau de l'évaluation du dommage réel, on a donc une problématique complexe mettant en jeu de nombreux facteurs d'influence.

Sauf pour un laser de classe 1, et à un degré moindre pour les lasers de classes 2 et 2M, ce dommage n'est pas a priori négligeable car les enjeux, pour la vision ou la gravité des brûlures à la peau, peuvent être importants, de sorte que toutes les mesures doivent être prises pour éviter l'exposition du corps ou d'une partie du corps à des lasers de classe 3A, 3R, 3B et 4.

Si ce principe ne peut pas être appliqué, il sera nécessaire soit d'évaluer l'exposition réelle en regard de l'EMP, soit de mettre en œuvre des mesures compensatrices.

// MISE EN APPLICATION

La mise en application de ce principe repose en premier lieu sur les règles suivantes :

- le choix d'une source laser pour une application doit être justifié, pour les besoins de l'application mais aussi quant à la classe de dangerosité de la source ;
- l'étiquetage, associé à la classe de laser, définit le premier niveau de consignes de sécurité que les opérateurs doivent absolument respecter. Cet étiquetage doit donc être visible, lisible et rédigé en français (*voir annexe 4*).

Il en résulte en particulier que lorsqu'un faisceau de lumière visible est utilisé pour l'alignement du chemin optique, il doit être de la classe 1.

Un laser de visée émettant dans le rouge, incorporé au rail optique, est souvent utilisé pour réaliser cette fonction. Par un jeu de miroirs, son émission est renvoyée sur le même trajet que celui de l'émission principale. Des outillages d'alignement (mire, cible phosphorescente) doivent être utilisés (*fig. 13 et 14*).

Dans ces conditions, la commande d'émission du faisceau principal doit être consignée pendant l'émission du faisceau de

classe 1 destiné à l'alignement. Une solution plus sophistiquée serait d'automatiser la procédure d'alignement du système de transmission du faisceau.

// DOCUMENTATION FOURNIE PAR LE FABRICANT

La documentation fournie par le fabricant, conforme à la norme NF EN ISO 11252 pour les machines à laser ou à la NF EN 60825-1 pour les appareils à laser, doit contenir les informations indispensables pour l'évaluation des risques, notamment :

- caractéristiques et classe de l'appareil à laser ou du rayonnement accessible de la machine à laser,
- les prescriptions d'utilisation et de sécurité pour les opérateurs en conditions d'utilisation normale,
- les interventions autorisées à l'utilisateur,
- les prescriptions d'intervention et de sécurité pour les opérateurs qui, par exemple pour la maintenance, seraient conduits à accéder à un rayonnement de classe plus élevée que celle de l'appareil ou de la machine en configuration d'utilisation.



FIGURE 13
APPAREIL DE MESURE DE LA PUISSANCE DU LASER:
 la puissance réduite du rayonnement laser est convertie en puissance thermique puis en signal électrique.

OUTILLAGES



FIGURE 14
MIRE POUR L'ALIGNEMENT OPTIQUE.
 Cette mire est placée sur le chemin optique en un endroit prévu pour l'alignement. L'ombre de la croix doit apparaître au centre de la cible phosphorescente.



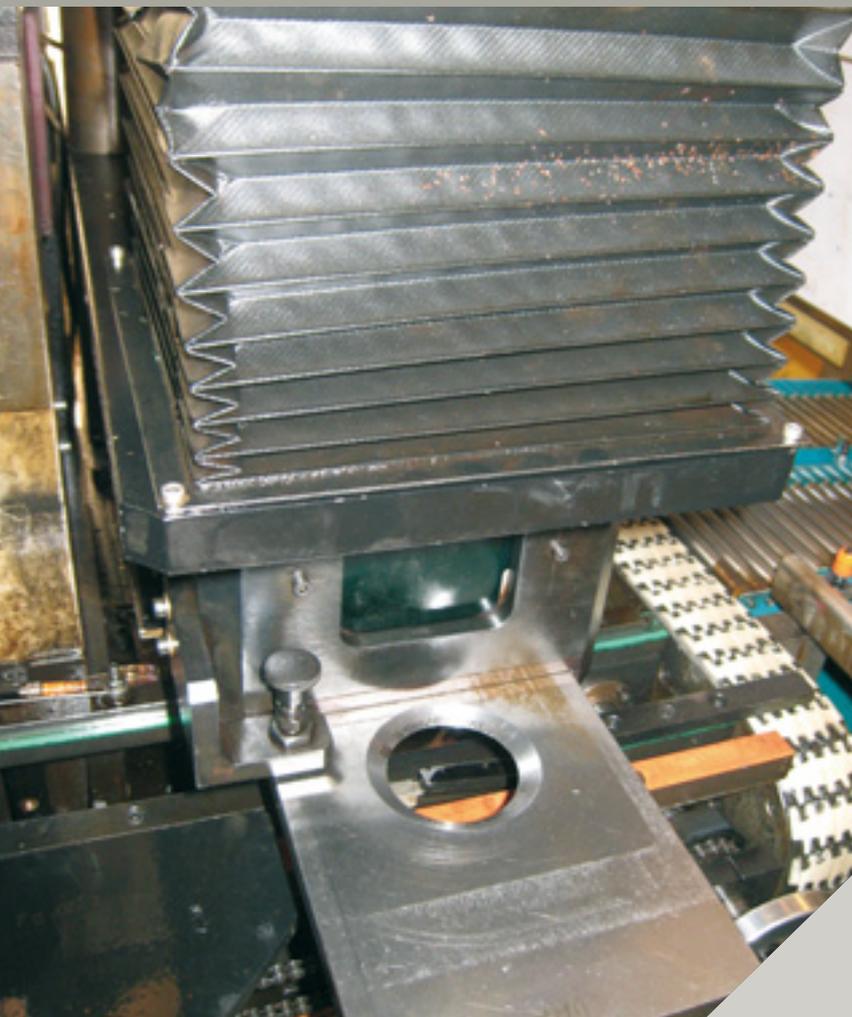


FIGURE 15

**ÉVACUATION
DU ROULEMENT
MARQUÉ DE LA ZONE
DE PROCESSUS.**

Le faisceau laser vient de marquer un roulement (on situe le roulement sur le convoyeur, en cours d'évacuation de la zone de processus). L'accès à la zone de processus est rendu impossible par le soufflet qui relie la tête galvanométrique à l'outillage de positionnement du roulement.

FIGURE 16

**OUTILLAGE
DE POSITIONNEMENT
DU ROULEMENT
EN PLACE.**

// CONFINEMENT DU RAYONNEMENT

Chaque fois que l'application le permet, le rayonnement laser ne doit pas avoir lieu vers l'extérieur ou bien, dans le cas contraire, être au plus de classe 1. C'est le cas par exemple des applications dans lesquelles l'appareil à laser est intégré à un autre appareil (par exemple une imprimante), de sorte que le rayonnement laser soit inaccessible à l'utilisateur ou au plus de la classe 1 (*fig. 15 et 16*).

C'est le cas aussi lorsque des soufflets empêchent un accès involontaire à une zone de propagation du faisceau en espace libre. Dans certains cas, afin de protéger les optiques des poussières, il peut aussi s'avérer indispensable de maintenir ce chemin optique en surpression.

Ce principe peut également être mis en œuvre dans la zone de processus de certaines machines. L'observation du déroulement du processus est alors réalisée visuellement – puisque le rayonnement accessible est de classe 1 – ou par caméra et report à distance sur un écran d'ordinateur, ou bien à travers un écran de protection laser (*fig. 17*).

Ce protecteur laser peut être choisi de façon à assurer ou une protection passive, ou une protection active. Dans le premier cas (protection passive), la barrière de protection laser est calculée de façon à ne pas être franchie pendant une durée déterminée si elle est impactée par le faisceau laser. Dans le second cas, dès lors qu'une première barrière de protection laser est franchie par le faisceau, un signal est élaboré et déclenche une séquence d'arrêt d'urgence dont les phases principales sont décrites ci-après :

- interposition d'un obturateur absorbant de faisceau sur le chemin optique ou déviation du faisceau en position de sécurité,
- mise en position de sécurité de la partie mobile de la machine,
- commande d'arrêt du laser,
- relaxation de l'émission dans la cavité laser, évacuation de la chaleur par le circuit

de refroidissement, évacuation de l'énergie électrique stockée dans les condensateurs haute tension, plus généralement inertage de l'installation etc.

Parallèlement à ces actions, une deuxième barrière, capable de résister pendant une durée déterminée au franchissement par le faisceau laser, assure toujours la protection de l'opérateur. La durée de protection fait partie du calcul de cette deuxième protection. Elle doit être au moins égale à la durée nécessaire pour positionner sur le chemin optique un arrêt du faisceau ou une déviation du faisceau dans une direction de sécurité.

La durée pendant laquelle un écran laser assure sa fonction de protection doit être connue de tous les opérateurs.

Ces protecteurs peuvent être disposés localement autour du point de focalisation du faisceau (dans des conditions compatibles avec le processus) ou de façon périphérique à la zone de processus.

Un convoyeur permettant l'alimentation automatique de la machine (tout en maintenant l'écran de protection laser autour de la zone de processus) doit être utilisé pour éviter qu'un opérateur ait à présenter les mains dans la zone de processus.

FIGURE 17

EXEMPLE DE PROTECTION LOCALE.

Sur cette machine, le rayonnement laser est confiné dans la zone de processus par une protection locale placée immédiatement autour de la zone de processus.

Le matériau transparent atténue l'intensité lumineuse des gerbes de rayonnement réfléchi par la pièce à marquer, de sorte qu'il est possible d'observer le processus lorsqu'il est en cours.

Dans certaines applications, cette protection peut entourer largement (et non localement) la zone de processus.

On parle alors de protection périphérique.



// DÉFINITION DE ZONES D'EXCLUSION

Lorsque l'application nécessite que le rayonnement soit émis vers l'extérieur, les directions dans lesquelles le rayonnement primaire est émis peuvent servir, de façon évidente, à définir une direction ou une zone d'espace dans laquelle aucune personne ne doit se trouver lors de l'émission. Tous les accès possibles à une telle zone doivent être interdits et condamnés, balisés, et une signalétique visible, lisible et rédigée en français doit être mise en place. Des avertissements lumineux et/ou sonores doivent être émis préalablement à et pendant l'émission laser.

Par exemple, l'émission peut être :

- multidirectionnelle (robots laser) ou plus rarement omnidirectionnelle,
- vers le bas, dans une direction ou un cône étroit défini (exemple : machine de soudage laser),
- vers le haut, dans une direction définie ou un cône défini (exemple : laser utilisé dans le cadre de spectacles, laser en plein air ou laser destiné à des applications météorologiques),
- horizontale, dans une seule direction dé-

finie (exemple : laser d'alignement topographique, laser utilisé pour les télécommunications point à point en espace libre, laser d'expérience),

- horizontale dans toutes les directions (laser rotatif permettant de définir un plan horizontal lors de la construction de bâtiments).

La définition de telles zones d'exclusion est le plus souvent inévitable car les calculs de la norme NF EN 60825-1, qui permettent de définir une distance (DNRO) ou une zone nominale de risque oculaire (ZNRO), conduisent, sauf dans le cas particulier d'un faisceau fortement divergent, à des distances de plusieurs dizaines de mètres, voire de plusieurs centaines de mètres ou plusieurs kilomètres (DNRO : la zone d'exclusion est définie dans une direction donnée ; ZNRO : la zone d'exclusion est définie dans une zone d'espace donnée).

Sauf cas particuliers (exemple : hall laser construit pour l'application), de telles distances sont incompatibles avec les dimensions et les conditions d'exploitation d'un atelier ou d'un hall d'usine.

La zone d'exclusion peut, et dans certains cas doit, être étendue à un local affecté complètement et exclusivement au tir laser.

L'accès à un local dans lequel un tir laser a lieu doit être contrôlé : accès verrouillé par la commande de l'émission, arrêt d'urgence depuis l'extérieur du local, signalisation visuelle et/ou audible de l'émission, signalétique du danger affichée sur la porte donnant l'accès au local.

// MAÎTRISE DE LA COMMANDE

Seule une personne autorisée doit pouvoir commander l'émission du rayonnement.

Seules des personnes autorisées peuvent avoir un accès au local dans lequel a lieu un tir laser, ou être présentes dans ce local, à condition qu'un tel accès, ou une telle présence, soit justifié pendant l'émission du faisceau.

Seule une personne autorisée doit pouvoir désactiver la ou les sécurités permettant l'accès ou la présence dans ce local.

Les mesures compensatoires suivantes doivent alors être mises en œuvre dans des conditions d'interventions dégradées :

a) Toute émission intempestive dans une direction ou une zone d'espace où l'opérateur peut se trouver, et qui ne doit pas en fonctionnement normal être traversée par

le rayonnement laser, doit être évitée. Il en résulte, ou bien que l'opérateur qui commande l'émission du rayonnement laser maîtrise son geste (cas le plus simple de l'utilisation d'un pointeur laser), ou bien, pour des niveaux de dangerosité plus élevés, que la commande soit sécurisée. Dans ce cas, l'opérateur qui intervient dans une zone dangereuse doit disposer d'une commande bimanuelle à action maintenue de façon, d'une part à éviter toute émission intempestive et, d'autre part, en cas d'incident ou d'accident, entraîner la libération instantanée de la commande. Si un tel événement a lieu, cette disposition n'a pas pour effet d'éviter l'impact du faisceau sur l'opérateur, mais uniquement de limiter le dommage.

b) La libération de la commande doit activer la séquence d'arrêt d'urgence décrite plus haut (voir § ci-dessus « Confinement du rayonnement »).

// CONFINEMENT DU TRAJET DU FAISCEAU

Si des opérateurs doivent être présents dans le local pendant l'émission du faisceau laser, le chemin optique doit être capoté.

Cette disposition a pour effet d'empêcher l'accès d'un opérateur au trajet du faisceau.

D'autre part, elle évite en cas de désalignement ou de la détérioration d'un miroir ou d'une optique, que le faisceau n'atteigne intempestivement un opérateur présent (voir § « Confinement du rayonnement »).

Si de plus, le chemin optique est mis sous pression dans l'enceinte de confinement du faisceau, la pollution des optiques par des poussières est évitée.

Il est recommandé que la présence de ce capotage soit contrôlée électriquement et conditionne la commande de l'émission du faisceau.

Si le travail à réaliser nécessite que l'émission ait lieu alors que le capot est déposé, seul un opérateur qualifié doit être autorisé à cette opération.

Il est alors de règle, en tant que mesure compensatoire, que l'émission ait lieu à un niveau de puissance réduit, sauf justification détaillée.

S'il n'est pas compatible avec le travail à réaliser que le niveau de puissance soit réduit, l'intervention doit être confiée à un opérateur spécifiquement averti du risque et formé au travail à réaliser en présence de ce risque.

Dans ces conditions, des butées (mécaniques, électriques ou logicielles) peuvent équiper les optiques mobiles sujettes à un risque de dépointage, afin de limiter le risque d'impact sur un opérateur.

Lorsque le trajet du faisceau est une fibre optique, celle-ci réalise par nature le confinement du trajet du faisceau. L'utilisation de la fibre devra être conforme aux prescriptions de son fabricant. Il conviendra de porter une attention particulière à la robustesse de la fixation de la fibre sur son parcours, notamment au point d'émission du faisceau vers l'extérieur.

L'interface avec le connecteur optique, qui permet le raccordement de la fibre à l'orifice laser, le respect de la longueur d'onde, pour laquelle la fibre est prévue, l'absence de coudes trop importants le long de la fibre (le faisceau laser pourrait détruire la fibre et être émis extérieurement de façon intempestive), sont autant d'aspects à prendre en compte pour la sécurité.

La mise en œuvre de continuités électriques autour de ces points sensibles, de façon à détecter par effet fusible une défaillance éventuelle et délivrer un signal utilisable pour l'arrêt séquentiel de l'installation, est recommandée.

Il est aussi possible de détecter l'émission du faisceau au niveau de l'orifice laser de l'appareil à laser et en sortie du chemin optique : l'absence du faisceau en sortie, alors qu'il est émis par la source laser, permet d'élaborer un signal utilisable pour l'arrêt d'urgence de l'installation.

Enfin, le trajet du faisceau doit se terminer par un obstacle capable d'absorber l'énergie du rayonnement (puits thermique). Une autre solution peut être, en fin de trajet, de renvoyer le faisceau dans une direction dans laquelle il ne représente plus un danger, tout en absorbant progressivement son énergie par réflexions successives.

Dans le cas des lasers les moins dangereux (classes 1, 2, 2M), on peut faire en sorte que le trajet du faisceau soit dans un plan horizontal situé au-dessus ou au-dessous des yeux.

// ÉVITEMENT DES RÉFLEXIONS

Les réflexions du faisceau primaire vers l'opérateur, et en particulier les réflexions spéculaires, doivent être évitées. À cette fin, les surfaces sur lesquelles le faisceau laser pourrait se réfléchir ainsi doivent être élimi-

nées autant que possible et les matériaux sur lesquels le faisceau laser pourrait impacter, doivent être choisis et dimensionnés de façon à absorber l'énergie contenue dans le faisceau.

Si cette disposition n'est pas compatible avec le traitement à réaliser, il est aussi possible de disposer un protecteur laser autour des zones où des réflexions spéculaires pourraient apparaître.

// PROTECTION INDIVIDUELLE DE L'ŒIL

Si l'opérateur doit accéder au local dans lequel a lieu l'émission laser, il doit porter des lunettes de protection ou de réglage laser choisies conformément à la norme NF EN 207 + A1 (180 nm – 1000 µm : lunette de protection laser) ou à la norme NF EN 208 + A1 (rayonnement laser visible de 400 nm à 700 nm : lunettes de réglage laser) respectivement.

Le principe de la mise en œuvre de ces lunettes est le suivant :

— elles ne permettent pas une vision intentionnelle dans le faisceau primaire. Les lunettes protègent uniquement d'un impact

incidentel ou accidentel du faisceau laser, et seulement pendant une durée déterminée ;

- elles doivent filtrer la longueur d'onde dont il faut se protéger : un facteur spectral de transmission maximal, fonction de la longueur d'onde et du type de laser, doit être défini. Il correspond à un numéro d'échelon ;

- elles doivent être utilisées dès lors que la vision directe dans le faisceau (situation théorique) permettrait la perception d'une limite d'émission accessible supérieure à la classe 1 ;

- elles doivent laisser passer un minimum de rayonnement visible non dangereux pour permettre une vision correcte de l'opérateur.

La conformité aux normes ci-dessus garantit, de plus, de nombreuses dispositions liées à la construction de ces produits (champ de vision, résistance mécanique, défauts de surface, stabilité des filtres aux UV et à la chaleur...).

La notice fournie par le fabricant contient des restrictions qu'il faut connaître, notamment en ce qui concerne la puissance du faisceau incident (limitée à 100 W).

Enfin, les lunettes de protection doivent être vérifiées et entretenues régulièrement (absence de rayures, de dépôts) et si nécessaire remplacées, car tout défaut affaiblit la protection procurée.

// PROTECTION INDIVIDUELLE DES MAINS OU DU CORPS

S'il est envisagé qu'un équipement de protection des mains ou du corps soit porté par l'opérateur, il doit faire l'objet d'une définition spécifique au rayonnement laser dont il faut protéger l'opérateur. Les limites et les contraintes liées au port d'une telle protection doivent être connues des opérateurs.

// PRESCRIPTIONS CONCERNANT L'OPÉRATEUR

Les opérateurs doivent être informés des risques encourus lorsqu'ils travaillent avec des appareils ou des machines à laser dont le rayonnement accessible est supérieur à celui de la classe 1. Ils doivent être formés à leur travail en présence de ce risque.

La consigne élémentaire et pratique, dont ils doivent avoir connaissance, est de ne pas placer les yeux ou le corps sur le trajet du faisceau, notamment si les protections collectives ou les sécurités sont amenées à être levées, pour des raisons liées à la préparation ou à la maintenance. ■

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

DIRECTIVES

- Directive basse tension 2006/95/CE
 - Correspondance en droit français : décret 1995-1081 du 3/10/95 modifié par le décret 2003-935 du 25/09/2003.
- Directive compatibilité électromagnétique 2004/108/CE.
 - Transposée en droit français par le décret 2006-1278 du 18 octobre 2006 relatif à la compatibilité électromagnétique des équipements électriques et électroniques.
- Directive équipements de travail et équipements de protection individuelle 2006/42/CE.
 - Transposée par le décret 2008-1156 du 7 novembre 2008 relatif aux équipements de travail et aux équipements de protection individuelle.
- Directive rayonnements optiques artificiels 2006/25/CE
 - Transposition en cours.
- Décret n° 2007-665 du 2 mai 2007 relatif à la sécurité des appareils à laser sortant.

NORMES

Seules sont répertoriées ci-après les normes les plus pertinentes sur le sujet.

NF EN 11553-1 Sécurité des machines. Machines à laser. Partie 1 – Prescriptions générales de sécurité.

NF EN 11553-2 Sécurité des machines. Machines à laser. Partie 2 – Exigences de sécurité pour dispositifs de traitement laser portatifs.

NF EN 11553-3 Sécurité des machines. Machines à laser. Partie 3 – Exigences de sécurité pour la réduction du bruit et pour les méthodes de mesure du bruit des machines lasers, des dispositifs de traitement portatifs et des équipements auxiliaires connexes (classe de précision 2).

NF EN ISO 11252 Lasers et équipements associés aux lasers. Source laser Exigences minimales pour la documentation.

NF EN 12254-1 + A1 Écrans laser (utilisable de 180 nm à 1 000 µm, puissance moyenne ≤ 100 W pour les lasers continus, énergie par impulsion limitée à 30 J pour les lasers impulsionnels).

NF EN 207 + A1 + A2 Protection individuelle de l'œil. Filtres et protecteurs de l'œil contre les rayonnements laser (lunettes de protection laser).

NF EN 208 + A1 + A2 Protection individuelle de l'œil. Lunettes de protection pour les travaux de réglage sur les lasers et sur les systèmes laser (lunettes de réglage laser).

Normes ou documents normatifs de la série CEI ou NF EN 60825 notamment :

NF EN 60825-1 Sécurité des appareils à laser. Partie 1 – Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur.

NF EN 60825-4 Protecteurs pour laser (pour les cas qui n'entrent pas dans le domaine d'application de la norme NF EN 12254-1 + A1 et les protecteurs actifs en particulier).

NORMES (suite)

Compatibilité électromagnétique

NF EN 61000-6-2 Compatibilité électromagnétique (CEM). Partie 6-2 – Normes génériques. Immunité pour les environnements industriels.

NF EN 61000-6-4 Compatibilité électromagnétique (CEM). Partie 6-2 – Normes génériques. Émission pour les environnements industriels.

Sécurité fonctionnelle

CEI 61508 Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité.

NF EN 62061 Sécurité des machines. Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électriques, électroniques et programmables pour les machines.

NF EN ISO 13849 Sécurité des machines. Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité. Partie 1 – Principes généraux de conception. Partie 2 – Validation.

TS 61000-1-2 Electromagnetic compatibility. General. Methodology for the achievement of functional safety of electrical and electronic equipment with regard to electromagnetic phenomena.



ANNEXES



DÉFINITION DES CLASSES LASER SELON LA NORME EN 60825-1

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
<p>Classe 1</p> <p>Lasers qui sont sans danger dans toutes les conditions d'utilisation raisonnablement prévisibles.</p>	<p>Classe 1</p> <p>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.</p> <p>Classe 1 - M</p> <p>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.</p> <p>Deux conditions s'appliquent :</p> <p>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 ouV</p> <p>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.</p>	
<p>Classe 2</p> <p>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.</p>	<p>Classe 2</p> <p>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.</p> <p><i>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.</i></p> <p>Classe 2 - M</p> <p>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.</p> <p>Deux conditions s'appliquent :</p> <p>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</p> <p>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.</p> <p><i>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 la classe 2 - M soient inférieures à la Limite d'Émission Accessible (LEA) de la classe 1- M.</i></p>	

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.

Classe 3B

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

Note : les conditions de la vision sans danger de réflexions diffuses 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 diffuses est normalement sans danger.

Note : les conditions de la vision sans danger de réflexions diffuses 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).

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.

ANNEXE 2

RECOMMANDATIONS APPLICABLES PAR LE CONSTRUCTEUR D'UN APPAREIL À LASER

NF EN 60825, JANV. 2008

(*) Dans la première colonne, les numéros de paragraphes se rapportent à des paragraphes de la norme NF EN 60825-1.

(**) Le tableau est destiné à fournir un résumé pratique des exigences. Voir le texte de la norme pour les exigences complètes.

TABLEAU F.2 RÉSUMÉ DES EXIGENCES POUR LE FABRICANT (*)

CLASSIFICATION			
PARAGRAPHE DE L'EXIGENCE (**)	CLASSE 1	CLASSE 1M	CLASSE 2
Description des classes de danger Annexe C	Sans danger dans toutes les conditions raisonnablement prévisibles	Semblable à la classe 1, excepté qu'il peut y avoir danger si l'utilisateur emploie des aides optiques	Faible puissance ; la protection de l'œil est normalement assurée par la réaction de défense
Capot de protection 4.2		Exigé pour chaque appareil à laser ;	
Verrouillage de sécurité des capots de protection 4.3	Conçu pour parer à l'enlèvement du panneau jusqu'à ce que accessible soient inférieures à celles de la classe 3R		
Verrouillage à distance 4.4	Non requis		
Réinitialisation manuelle 4.5	Non requise		
Commande à clé 4.6	Non requise		
Avertisseur d'émission 4.7	Non requis		
Atténuateur 4.8	Non requis		
Emplacement des commandes 4.9	Non requis		
Optiques d'observation 4.10	Non requises		Il faut que l'émission
Balayage 4.11	Un défaut du balayage ne doit pas entraîner une surclassification		
Plaque indicatrice de la classe 5.1 à 5.6	Texte requis		Figures 1 et 2
Plaque indicatrice d'ouverture 5.7	Non requis		
Plaque indicatrice pour accès d'entretien 5.9.1	Non requise	Requise en fonction de la classe	
Plaque indicatrice de neutralisation de sécurité 5.9.2	Requise sous certaines conditions en fonction de la classe du laser utilisé		
Plaque indicatrice de gamme de longueurs d'ondes 5.10 et 5.11	Requise pour certaines gammes de longueurs d'ondes		
Information de l'utilisateur 6.1	Il faut que les notices d'emploi contiennent des instructions pour		
Renseignements pour l'achat et l'entretien 6.2	Il faut que les brochures commerciales spécifient la classification de		
Appareils médicaux 7.2	Non requis		

CLASSE 2M	CLASSE 3R	CLASSE 3B	CLASSE 4
Semblable à la classe 2, excepté qu'il peut y avoir plus de danger si l'utilisateur emploie des aides optiques	La vision directe dans le faisceau peut être dangereuse	La vision directe dans le faisceau est habituellement dangereuse	Grande puissance ; la réflexion diffuse peut être dangereuse
il limite l'accès nécessaire pour la réalisation des fonctions des appareils			
les valeurs d'émission	Conçu pour parer à l'enlèvement du panneau jusqu'à ce que les valeurs d'émission accessible soient inférieures à celles de la classe 3B ou 3R pour certains appareils		
		Permet l'addition facile d'un verrouillage externe dans une installation laser	
			Nécessite une réinitialisation manuelle si la puissance est interrompue ou si un verrouillage à distance est actionné
		Le laser est inopérant quand la clé est enlevée	
	Donne un avertissement audible ou visible quand le laser est en marche ou si la batterie de condensateurs d'un laser à impulsions est en charge. Pour la classe 3R, s'applique uniquement si un rayonnement invisible est émis.		
		Donne des moyens pour arrêter temporairement le faisceau	
	Les commandes sont placées de façon à ce que les opérations de réglage n'entraînent pas une exposition à des LEA au-dessus de la classe 1 ou 2		
à partir de tous les systèmes d'observation soit inférieure aux LEA de la classe 1 M			
de l'appareil			
et texte spécifié			
	Le texte spécifié est requis		
du rayonnement accessible			
une utilisation sans danger. Des exigences supplémentaires s'appliquent pour la classe 1M et la classe 2M			
l'appareil. Il faut que les manuels de service contiennent des informations sur la sécurité			
		Pour la sécurité des appareils médicaux à laser, la CEI 60601-2-22 s'applique	

ANNEXE 3

RECOMMANDATIONS APPLICABLES PAR L'UTILISATEUR D'UN APPAREIL À LASER

NF EN 60825-1/A2

(*) Dans la première colonne, les numéros de paragraphes se rapportent à des paragraphes de la norme NF EN 60825-1.

(**) Le tableau est destiné à fournir un résumé pratique des prescriptions. Voir le texte de la norme pour les prescriptions complètes.

TABLEAU D.3 RÉSUMÉ DES PRÉCAUTIONS POUR L'UTILISATEUR (*)

CLASSIFICATION			
PARAGRAPHE DE LA PRÉSCRIPTION (**)	CLASSE 1	CLASSE 1M	CLASSE 2
Responsable de sécurité laser 10.1	Non prescrit, mais recommandé pour les applications directe du faisceau de laser		
Verrouillage à distance 10.2	Non prescrit		
Commande à clé 10.3	Non prescrite		
Atténuateur de faisceau 10.4	Non prescrit		
Indicateur d'émission	Non prescrit		
Panneaux avertisseurs 10.5	Non prescrit		
Trajet du faisceau 10.6	Non prescrit	Classe 1M ^a comme pour la Classe 3B	Non prescrit
Réflexion spéculaire 10.7	Sans prescription	Classe 1M ^a comme pour la Classe 3B	Sans prescription
Protection de l'œil 10.8	Sans prescription		
Vêtements de protection 10.9	Sans prescription		
Formation 10.10	Sans prescription	Classe 1M ^a comme pour la Classe 3R	Sans prescription

^a Appareils à laser de la classe 1M qui échappent à la condition 1 du tableau 10. Non prescrit

^b Appareils à laser de la classe 2M qui échappent à la condition 1 du tableau 10. Non prescrit

	CLASSE 2M	CLASSE 3R	CLASSE 3B	CLASSE 4
qui impliquent la vision		Non prescrit pour une émission visible. Prescrit pour une émission invisible	Prescrit	
			Connecter aux circuits de la pièce ou de la porte	
			Enlever la clé quand l'appareil n'est pas en service	
			Quand il est en service, il empêche les expositions accidentelles	
		Indique que le laser est alimenté, pour des longueurs d'onde invisibles	Indique que le laser est alimenté	
			Suivre les précautions indiquées sur les panneaux avertisseurs	
	Classe 2M ^b comme pour la Classe 3B	Interrompre le faisceau à la fin de son trajet utile		
	Classe 2M ^b comme pour la Classe 3B	Empêcher les réflexions indésirables		
			Prescrite si les procédures techniques et administratives ne sont pas praticables et si les EMP sont dépassées	
			Prescrits quelquefois	Prescriptions spécifiques
	Classe 2M ^b comme pour la Classe 3B	Prescrite pour tout le personnel assurant le fonctionnement et l'entretien		

pour les appareils à laser de la classe 1M qui échappent à la condition 2 du tableau 10.
pour les appareils à laser de la classe 2M qui échappent à la condition 2 du tableau 10.

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 Norme initiale, applicable depuis le 05/07/1994		Norme EN 60825-1, Janv.2008 Applicable à partir du 01/09/2010	
<p>Classe 1</p> <p>PRÉSENCE D'UNE ÉTIQUETTE: (ou présence de l'indication dans le guide de l'utilisateur): Appareil à laser de classe 1</p>		<p>Classe 2</p> <p>PRÉSENCE D'UNE ÉTIQUETTE: Appareil à laser de classe 1</p> <p>Classe 1-M Rayonnement laser. Ne pas observer directement à l'aide d'instrument d'optique. Appareil à laser de classe 1M</p>	
<p>Classe 2</p> <p>PRÉSENCE D'UNE ÉTIQUETTE: Rayonnement laser. Ne pas regarder dans le faisceau. Appareil à laser de classe 2</p> <p><i>Note : pour ces appareils, la puissance maximale des lasers à émission continue est généralement de 1mW.</i></p>		<p>Classe 2</p> <p>PRÉSENCE D'UNE ÉTIQUETTE: Rayonnement laser. Ne pas regarde dans le faisceau. Appareil à laser de classe 2</p> <p>Classe 2M</p> <p>PRÉSENCE D'UNE ÉTIQUETTE: Rayonnement laser. Ne pas regarder dans le faisceau ou observer directement a l'aide d'instruments d'optique. Appareil à laser de classe 2M</p>	
<p>Classe 3A</p> <p>PRÉSENCE D'UNE ÉTIQUETTE: Rayonnement laser. Ne pas regarder dans le faisceau ni à l'œil nu ni à l'aide d'un instrument d'optique. Appareil à laser de classe 3A</p> <p>Classe 3B</p> <p>PRÉSENCE D'UNE ÉTIQUETTE: Rayonnement laser. Exposition au faisceau dangereuse. Appareil à laser de classe 3B</p> <p><i>Note : à titre indicatif, cette classe correspond aux lasers dont la puissance d'émission continue n'est pas supérieure à 0,5 W.</i></p>		<p>Classe 3R</p> <p>PRÉSENCE D'UNE ÉTIQUETTE: (rayonnement visible): Rayonnement laser. Exposition directe dangereuse pour les yeux. Appareil à laser de classe 3R</p> <p>Ou (rayonnement non visible): Rayonnement laser. Exposition au faisceau dangereuse. Appareil à laser de classe 3R</p> <p>Classe 3B</p> <p>PRÉSENCE D'UNE ÉTIQUETTE: Rayonnement laser. Exposition au faisceau dangereuse. Appareil à laser de classe 3B</p>	
<p>Classe 4</p> <p>PRÉSENCE D'UNE ÉTIQUETTE: Rayonnement laser. Exposition dangereuse de l'œil ou de la peau au rayonnement direct ou diffus. Appareil à laser de classe 4</p>		<p>Classe 4</p> <p>PRÉSENCE D'UNE ÉTIQUETTE: Rayonnement laser. Exposition dangereuse de l'œil ou de la peau au rayonnement direct ou diffus. Appareil à laser de classe 4</p>	

Pour commander les films (en prêt), les brochures et les affiches de l'INRS, adressez-vous au service prévention de votre CRAM ou CGSS.

Services prévention des CRAM

ALSACE-MOSELLE

(67 Bas-Rhin)
14 rue Adolphe-Seyboth
CS 10392
67010 Strasbourg cedex
tél. 03 88 14 33 00
fax 03 88 23 54 13
prevention.documentation@cram-alsace-moselle.fr
www.cram-alsace-moselle.fr

(57 Moselle)
3 place du Roi-George
BP 31062
57036 Metz cedex 1
tél. 03 87 66 86 22
fax 03 87 55 98 65
www.cram-alsace-moselle.fr

(68 Haut-Rhin)
11 avenue De-Lattre-de-Tassigny
BP 70488
68018 Colmar cedex
tél. 03 88 14 33 02
fax 03 89 21 62 21
www.cram-alsace-moselle.fr

AQUITAINE

(24 Dordogne, 33 Gironde, 40 Landes, 47 Lot-et-Garonne, 64 Pyrénées-Atlantiques)
80 avenue de la Jallère
33053 Bordeaux cedex
tél. 05 56 11 64 36
fax 05 57 57 70 04
documentation.prevention@cramaquitaine.fr

AUVERGNE

(03 Allier, 15 Cantal, 43 Haute-Loire, 63 Puy-de-Dôme)
48-50 boulevard Lafayette
63058 Clermont-Ferrand cedex 1
tél. 04 73 42 70 76
fax 04 73 42 70 15
preven.cram@wanadoo.fr

BOURGOGNE et FRANCHE-COMTÉ

(21 Côte-d'Or, 25 Doubs, 39 Jura, 58 Nièvre, 70 Haute-Saône, 71 Saône-et-Loire, 89 Yonne, 90 Territoire de Belfort)
ZAE Cap-Nord
38 rue de Cracovie
21044 Dijon cedex
tél. 03 80 70 51 32
fax 03 80 70 51 73
prevention@cram-bfc.fr
www.cram-bfc.fr

BRETAGNE

(22 Côtes-d'Armor, 29 Finistère, 35 Ille-et-Vilaine, 56 Morbihan)
236 rue de Châteaugiron
35030 Rennes cedex
tél. 02 99 26 74 63
fax 02 99 26 70 48
drpcdi@cram-bretagne.fr
www.cram-bretagne.fr

CENTRE

(18 Cher, 28 Eure-et-Loir, 36 Indre, 37 Indre-et-Loire, 41 Loir-et-Cher, 45 Loiret)
36 rue Xaintrailles
45033 Orléans cedex 1
tél. 02 38 81 50 00
fax 02 38 79 70 29
prev@cram-centre.fr

CENTRE-OUEST

(16 Charente, 17 Charente-Maritime, 19 Corrèze, 23 Creuse, 79 Deux-Sèvres, 86 Vienne, 87 Haute-Vienne)
4 rue de la Reynie
87048 Limoges cedex
tél. 05 55 45 39 04
fax 05 55 45 71 45
cirp@cram-centreouest.fr
www.cram-centreouest.fr

ÎLE-DE-FRANCE

(75 Paris, 77 Seine-et-Marne, 78 Yvelines, 91 Essonne, 92 Hauts-de-Seine, 93 Seine-Saint-Denis, 94 Val-de-Marne, 95 Val-d'Oise)
17-19 place de l'Argonne
75019 Paris
tél. 01 40 05 32 64
fax 01 40 05 38 84
prevention.atmp@cramif.cnamts.fr

LANGUEDOC-ROUSSILLON

(11 Aude, 30 Gard, 34 Hérault, 48 Lozère, 66 Pyrénées-Orientales)
29 cours Gambetta
34068 Montpellier cedex 2
tél. 04 67 12 95 55
fax 04 67 12 95 56
prevdoc@cram-lr.fr

MIDI-PYRÉNÉES

(09 Ariège, 12 Aveyron, 31 Haute-Garonne, 32 Gers, 46 Lot, 65 Hautes-Pyrénées, 81 Tarn, 82 Tarn-et-Garonne)
2 rue Georges-Vivent
31065 Toulouse cedex 9
tél. 0820 904 231 (0,118 €/min)
fax 05 62 14 88 24
doc.prev@cram-mp.fr

NORD-EST

(08 Ardennes, 10 Aube, 51 Marne, 52 Haute-Marne, 54 Meurthe-et-Moselle, 55 Meuse, 88 Vosges)
81 à 85 rue de Metz
54073 Nancy cedex
tél. 03 83 34 49 02
fax 03 83 34 48 70
service.prevention@cram-nordest.fr

NORD-PICARDIE

(02 Aisne, 59 Nord, 60 Oise, 62 Pas-de-Calais, 80 Somme)
11 allée Vauban
59662 Villeneuve-d'Ascq cedex
tél. 03 20 05 60 28
fax 03 20 05 79 30
bedprevention@cram-nordpicardie.fr
www.cram-nordpicardie.fr

NORMANDIE

(14 Calvados, 27 Eure, 50 Manche, 61 Orne, 76 Seine-Maritime)
Avenue du Grand-Cours, 2022 X
76028 Rouen cedex
tél. 02 35 03 58 22
fax 02 35 03 58 29
prevention@cram-normandie.fr

PAYS DE LA LOIRE

(44 Loire-Atlantique, 49 Maine-et-Loire, 53 Mayenne, 72 Sarthe, 85 Vendée)
2 place de Bretagne
44932 Nantes cedex 9
tél. 0821 100 110
fax 02 51 82 31 62
prevention@cram-pl.fr

RHÔNE-ALPES

(01 Ain, 07 Ardèche, 26 Drôme, 38 Isère, 42 Loire, 69 Rhône, 73 Savoie, 74 Haute-Savoie)
26 rue d'Aubigny
69436 Lyon cedex 3
tél. 04 72 91 96 96
fax 04 72 91 97 09
preventionrp@cramra.fr

SUD-EST

(04 Alpes-de-Haute-Provence, 05 Hautes-Alpes, 06 Alpes-Maritimes, 13 Bouches-du-Rhône, 2A Corse Sud, 2B Haute-Corse, 83 Var, 84 Vaucluse)
35 rue George
13386 Marseille cedex 5
tél. 04 91 85 85 36
fax 04 91 85 75 66
documentation.prevention@cram-sudest.fr

Services prévention des CRAM

GUADELOUPE

Immeuble CGRR, Rue Paul-Lacavé, 97110 Pointe-à-Pitre
tél. 05 90 21 46 00 - fax 05 90 21 46 13
lina.palmont@cgss-guadeloupe.fr

GUYANE

Espace Turenne Radamonthe, route de Raban,
BP 7015, 97307 Cayenne cedex
tél. 05 94 29 83 04 - fax 05 94 29 83 01

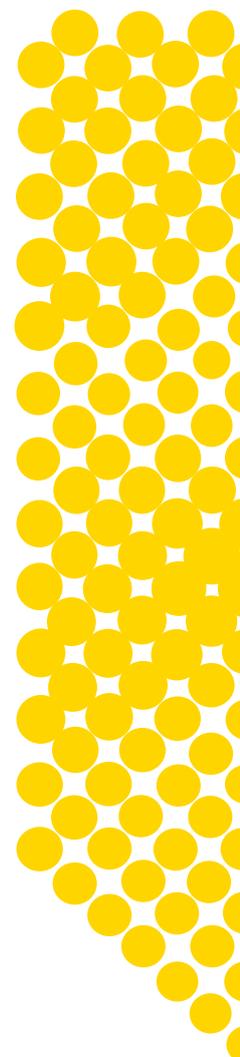
LA RÉUNION

4 boulevard Doret, 97704 Saint-Denis Messag cedex 9
tél. 02 62 90 47 00 - fax 02 62 90 47 01
prevention@cgss-reunion.fr

MARTINIQUE

Quartier Place-d'Armes, 97210 Le Lamentin cedex 2
tél. 05 96 66 51 31 - 05 96 66 51 32 - fax 05 96 51 81 54
prevention972@cgss-martinique.fr
www.cgss-martinique.fr

Le présent document est un document d'accompagnement.
Il a pour objectif de présenter les fondements techniques
des textes réglementaires et des normes en vigueur en matière
de sécurité laser, d'en faciliter et d'en illustrer tant
la compréhension que l'approche, sans toutefois s'y substituer.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
30, rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14 • Tél. 01 40 44 30 00
Fax 01 40 44 30 99 • Internet: www.inrs.fr • e-mail: info@inrs.fr

Édition INRS ED 6071

1^{re} édition • avril 2010 • 3 000 ex. • ISBN 978-2-7389-1853-6 • impression groupe Corlet S.A.