

GUIDE

La sécurité reliée aux lasers en milieu manufacturier

RÉALISÉ EN COLLABORATION AVEC



Cégep
André-Laurendeau

OPT~~E~~CH



CONCEPTION ET RÉDACTION

Marie-Josée Ross, ing., MultiPrévention

RÉVISION DU GUIDE

Marie-Maude Baillargeon, ph.D, Optech (affilié au Cégep André Laurendeau)

CONCEPTION GRAPHIQUE ET MISE EN PAGE

Karine Bellerive

COLLABORATEURS

Mme Nathalie Laurenzi et
M. Safran Noël Boulet, ing., MultiPrévention

On peut se procurer des exemplaires du présent document
en communiquant avec :

MultiPrévention
2405, boul. Fernand-Lafontaine, bureau 150
Longueuil (Québec) J4N 1N7
Tél. : 450 442-7763

Il est possible de télécharger ce document gratuitement
à partir de notre site : www.multiprevention.org

Dans ce document, le générique masculin est utilisé sans
discrimination et dans le seul but d'alléger le texte.

Toute reproduction d'un extrait de ce document doit être autorisée par écrit par MultiPrévention et porter
la mention de sa source.

Bien que ce guide ait été réalisé à partir de sources reconnues comme fiables et crédibles, MultiPrévention,
ses administrateurs et son personnel n'assument aucune responsabilité des conséquences de toute décision
prise conformément à l'information contenue dans le présent
document, ou de toute erreur ou omission.

© Septembre 2022 MultiPrévention

ISBN : 978-2-924694 La sécurité reliée aux lasers en milieu manufacturier (2^e édition imprimée, 2022)

ISBN : 978-2-924694-33-6 La sécurité reliée aux lasers en milieu manufacturier (2^e édition numérique, 2022)

ISBN : 2-921360-14-4 La sécurité reliée aux lasers (1^{ère} édition, 2004)

Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Québec, 2022

Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Canada, 2022



2405, boul. Fernand-Lafontaine, bureau 150
Longueuil (Québec) J4N 1N7
Tél. : 450 • 442 • 7763

979, av. de Bourgogne, bureau 570
Québec (Québec) G1W 2L4
Tél. : 418 • 652 • 7682

www.multiprevention.org

 Visitez-nous sur Facebook

GUIDE

La sécurité reliée aux lasers en milieu manufacturier



Table des matières

Introduction	7
PARTIE 1 Qu'est-ce qu'un laser?	8
1.1. La lumière laser est particulière	
1.2. Les paramètres du laser	
1.3. Les composantes d'un laser	
1.4. Les types de lasers et leurs applications	
1.5. Les fibres optiques transportent la lumière laser	
PARTIE 2 Les dangers associés au rayonnement laser	16
2.1. Les blessures	
2.2. Les lasers sont-ils tous dangereux ?	
2.3. Estimer le danger à l'aide du système de classification	
PARTIE 3 Se protéger du rayonnement laser	22
3.1. Un appareil à laser vs un laser	
3.2. Apprendre à reconnaître les risques	
3.3. Les mesures de sécurité	
3.4. Quelques précisions sur les moyens techniques	
3.5. Organisation du travail et mesures administratives	
PARTIE 4 Les autres dangers et comment s'en protéger	31
PARTIE 5 Utilisation de lasers en milieu manufacturier	35
5.1 Adapter la protection au niveau du risque d'exposition au laser	
5.2 Équipement de soudage ou de brasage laser	
5.3 Nettoyage par laser	
5.4 Découpe au laser	
5.5 Marquage par laser	
5.6 Procédés de fabrication additive	
5.7 Numériseurs laser, capteurs, scanners	
Réponses à quelques questions	42
Pour en savoir plus	45
Bibliographie	46

Introduction

La sécurité reliée aux lasers

LASER

Le terme **LASER** est un acronyme pour **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation**. Les lasers sont des appareils qui produisent une forme de lumière très spéciale, très dense en énergie. Il existe toute une panoplie de lasers qui sont utilisés dans des secteurs aussi variés que l'industrie, la chirurgie, les télécommunications, la construction, etc. Plus près de nous, on trouve les « scanners » à l'épicerie, les pointeurs laser, etc.

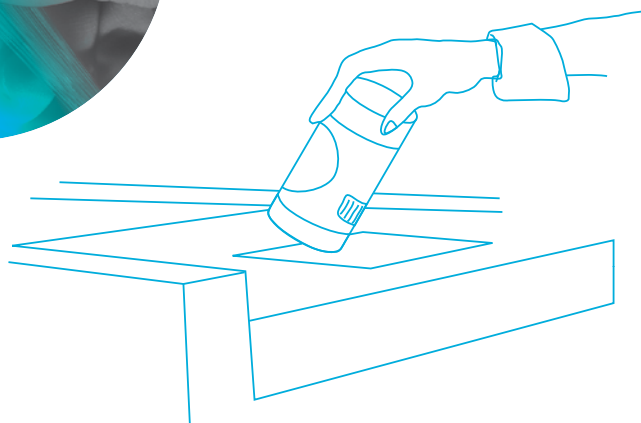
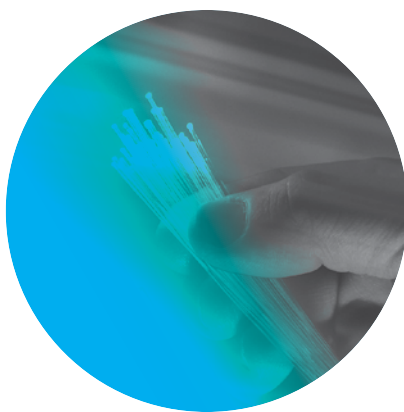
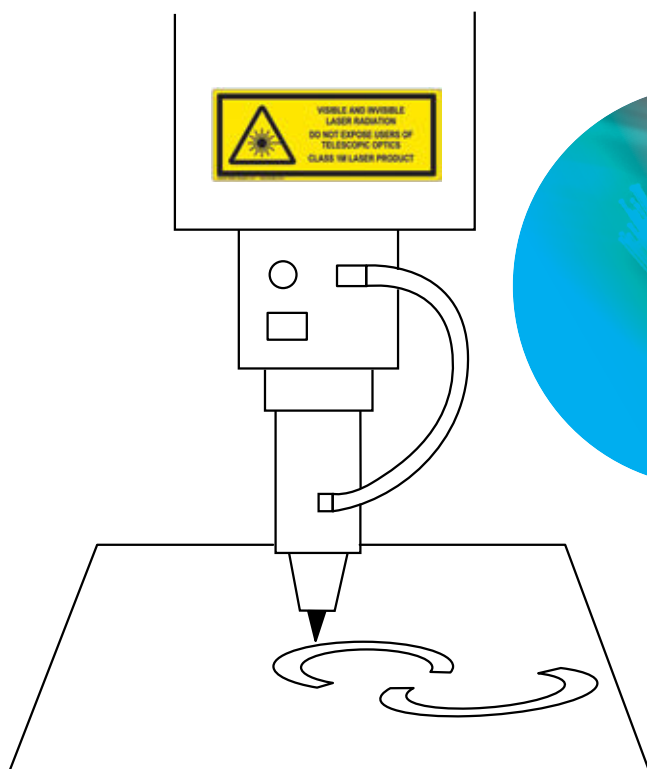
Sont-ils tous dangereux ?

Certains lasers présentent peu de danger comparativement à d'autres. Le potentiel de danger d'une source laser dépend de plusieurs facteurs, dont la puissance émise, la longueur d'onde, le type d'émission, le trajet du faisceau et les dispositifs de protection. En somme, il n'est pas toujours simple de tracer une ligne entre les lasers qui sont dangereux et ceux qui ne le sont pas.

Objectifs

Ce guide vise à :

- Démystifier les paramètres qui caractérisent les lasers ;
- Aider à identifier les dangers reliés aux lasers utilisés dans votre entreprise ;
- Aider à trouver des moyens pour sécuriser les opérations réalisées à l'aide de lasers ou à proximité de ceux-ci.



Partie 1

Qu'est-ce qu'un laser ?

1.1 La lumière laser est particulière

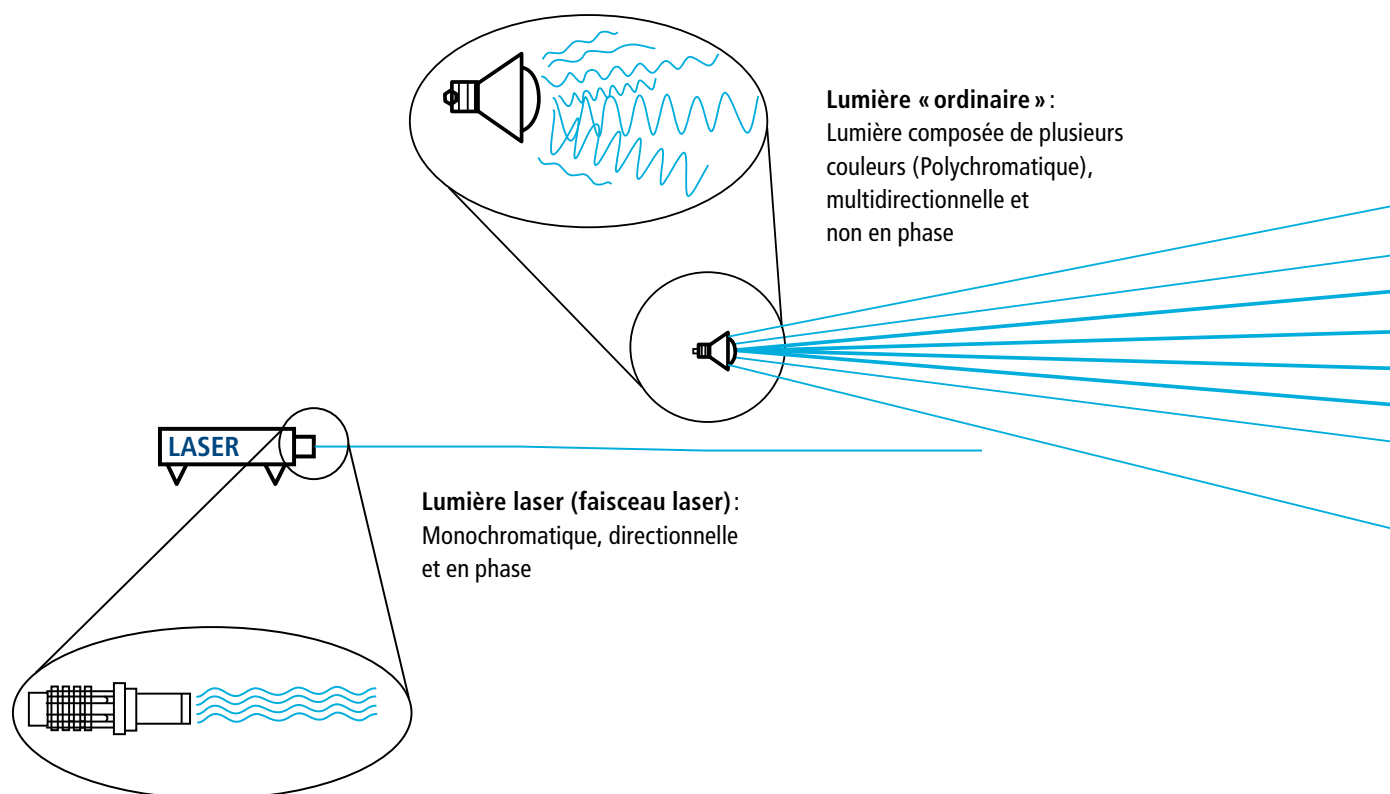
La lumière générée par un laser est concentrée et dirigée en un faisceau, contrairement à une ampoule électrique qui projette dans toutes les directions. La lumière laser a trois caractéristiques qui la rendent différente de la lumière « ordinaire ». Elle est :

- monochromatique (une seule couleur qui varie selon le type de laser) ;
- directionnelle (les rayons sont parallèles et peuvent voyager sur de longues distances en ne divergeant que très peu) ;
- cohérente (les ondes sont en phase, c'est-à-dire qu'elles sont synchronisées dans le temps et l'espace).

Ces particularités permettent une forte concentration de l'énergie sur une très petite surface. À cause de la très faible divergence des faisceaux laser, cette puissance reste concentrée sur de très grandes distances et la zone de danger du laser peut s'étendre sur plusieurs dizaines de mètres, voire jusqu'à plusieurs kilomètres. Il s'agit d'un des principaux intérêts de l'émission laser qui constitue également un de ses dangers fondamentaux, principalement pour les yeux et pour la peau.

Il est à noter que certains types de lasers peuvent avoir des faisceaux divergents comme la diode laser ou lorsque des fibres optiques ou des lentilles sont utilisées à la sortie du laser. Plusieurs lasers sont aussi des sources ponctuelles, c'est-à-dire que l'image focalisée au fond de l'œil est la plus petite qu'il soit possible de faire. Ceci a pour conséquence de concentrer la puissance sur une surface minuscule au fond de l'œil.

Fig. 1.1.1 Distinctions entre la lumière « ordinaire » et la lumière laser.



1.2 Les paramètres du laser

Un laser est caractérisé par sa longueur d'onde, sa puissance et son type d'émission.

Longueur d'onde

La lumière laser est une onde électromagnétique. La longueur d'onde correspond à la distance entre deux crêtes.

Il existe plusieurs types de rayonnements qui sont caractérisés par des intervalles de longueurs d'onde. Par exemple, les rayons X ont des longueurs d'onde très courtes et sont donc plus énergétiques que les longueurs d'ondes radio.

Les longueurs d'onde du rayonnement laser sont généralement exprimées en nanomètre (nm). Un nanomètre équivaut à un millionième de millimètre soit 10^{-9} mètre ou encore 0,000000001 mètre. Les longueurs d'onde de la lumière émise par les différents types de laser s'échelonnent entre 180 nm et 1mm.

La lumière laser peut être visible ou invisible. L'œil ne perçoit que la radiation comprise entre 400 nm (violet) et 700 nm (rouge). La longueur d'onde est interprétée par l'œil et le cerveau comme étant de la couleur. La lumière laser invisible se divise en deux grandes catégories ; les ultraviolets (UV) et les infrarouges (IR). On distingue les infrarouges proches des infrarouges moyens et éloignés.

Il en est de même pour les ultraviolets. On utilise également les appellations UVA, UVB et UVC qui correspondent respectivement aux ultraviolets proches, moyens et éloignés. La figure ci-dessous illustre les différents types de rayonnements et leurs longueurs d'onde respectives.

Fig. 1.2.1 Longueur d'onde d'un rayonnement électromagnétique

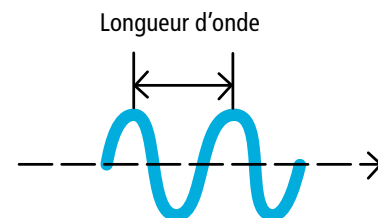
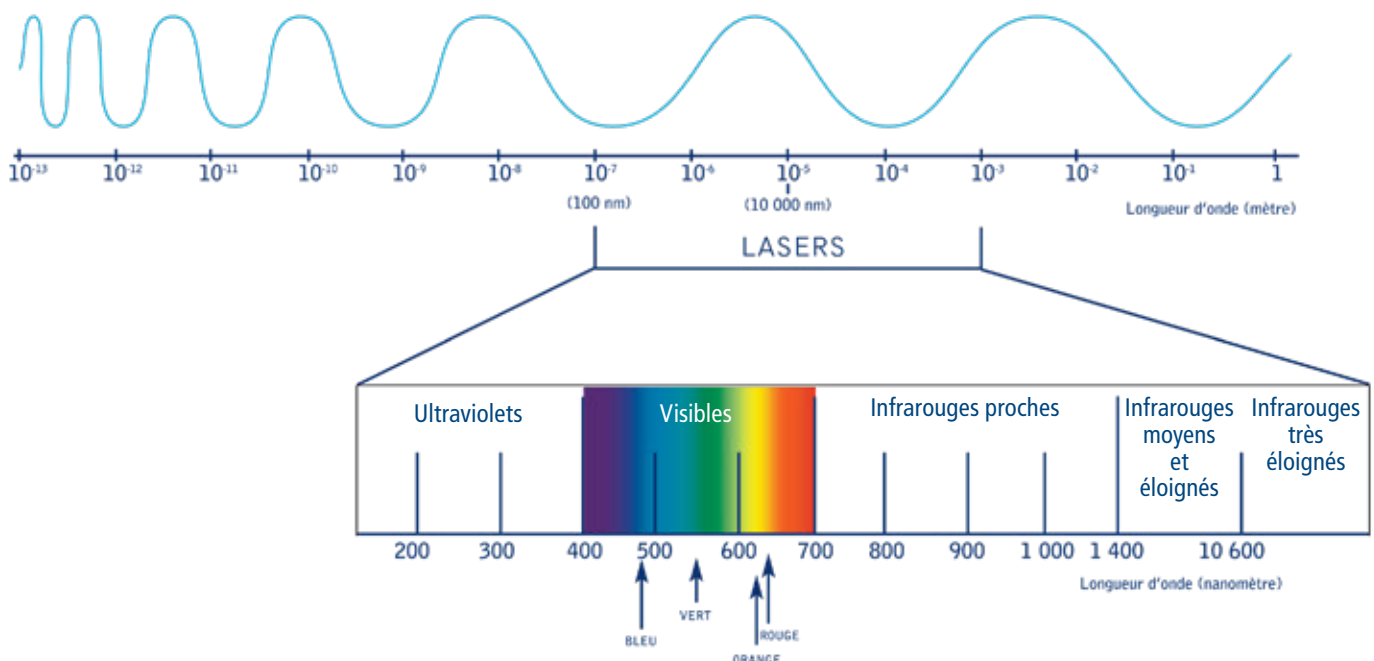


Fig. 1.2.2 Longueurs d'onde des différents types de rayonnements



QU'EST-CE QU'UN LASER ?

Le type d'émission

Le rayonnement laser peut être émis sous forme d'impulsion ou de façon continue.

Les impulsions

La durée des impulsions varie de quelques femtosecondes (10^{-15} s) à quelques dizaines de millisecondes. Ces impulsions se succèdent à des cadences très variables, de quelques impulsions par heure à plusieurs centaines par seconde. Elles peuvent être de trois types : relaxées, déclenchées (Q-switched) ou en mode bloqué.

L'émission continue

On dit qu'un laser émet de façon continue si la durée d'émission dépasse 0,25 seconde, ce qui correspond au temps du réflexe de fermeture de la paupière (réflexe palpébral). Lorsque l'oeil est soumis à une lumière intense, la paupière a le réflexe de se refermer pour protéger l'œil.

La puissance

La puissance d'un laser, concentrée sur une petite surface (W/m^2), peut être suffisante pour couper du métal. Dans d'autres cas, la concentration de puissance est si faible qu'elle ne présente aucun risque pour les yeux ou pour la peau.

En pratique :

Pour un laser à impulsion, on indique la quantité d'énergie en joules (J) qu'il peut libérer par impulsion. On peut aussi en quantifier la puissance, en tenant compte de la durée d'une impulsion. La puissance s'exprime en watt qui correspond à 1 J/s.

Ainsi, un laser à impulsion émettant une énergie de 10 joules aurait une puissance de :

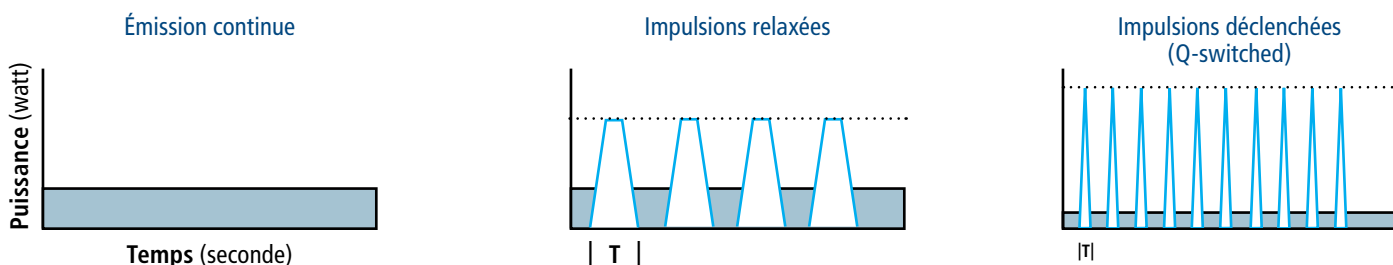
- 100 watts si cette énergie est émise en une 0,1 seconde
- 1000 watts, si elle est émise en 0,01 de seconde.

Pour un laser à émission continue, on indique sa puissance d'émission en watts (W).

La puissance de sortie des lasers opérant en continu peut varier d'une fraction de milliwatt à plusieurs kilowatts. Cependant, à puissance moyenne égale, la puissance de crête (peak) d'une seule impulsion à la sortie d'un laser opérant en fonctionnement déclenché (Q-switched) peut atteindre les gigawatts (10^9 W) voire même les térawatts (10^{12} W) pour certains types de lasers. Ces puissances élevées correspondent à une énergie libérée en un temps très court.

La figure ci-dessous illustre des variations de puissance de sortie selon le type d'émission. Pour une même puissance moyenne, on constate que des puissances de crête très élevées peuvent être atteintes pendant une fraction de seconde. Le danger d'un laser impulsif ne doit donc jamais être sous-estimé.

Fig. 1.2.3 Illustration de la correspondance entre la puissance moyenne et les puissances de crête



T : durée d'une impulsion Zone gris foncé : puissance moyenne Ligne pointillée : niveau des puissances de crête

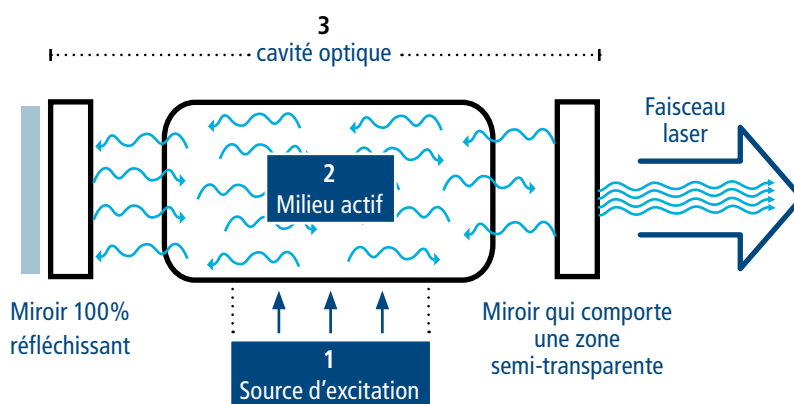
1.3 Les composantes d'un laser

De manière simplifiée, un laser est composé d'une source d'excitation externe (1), d'un milieu actif (2) et d'une cavité optique (3) ou cavité résonnante.

C'est le milieu actif qui absorbe l'énergie de la source d'excitation externe pour ensuite la réémettre sous forme de lumière laser monochromatique et cohérente.

1. La source d'excitation externe peut être électrique, optique ou chimique.
2. Le milieu actif peut être un solide, un gaz ou un liquide. Il y a également des milieux actifs composés de matériaux semi-conducteurs que l'on retrouve dans les diodes laser. Le milieu actif détermine la longueur d'onde émise par le laser et par conséquent la couleur du faisceau (visible ou invisible).
3. La cavité optique vient amplifier l'intensité de la lumière à l'aide de deux miroirs qui la réfléchissent aller et retour au travers du milieu actif. Un des miroirs reflète 100% de la lumière qui le frappe alors que l'autre miroir comporte une zone semi-transparente et ne laisse passer qu'une fraction de la lumière. Ce dernier permet le passage du faisceau laser à l'extérieur de la cavité.

Fig. 1.3.1 Schéma simplifié des composantes d'un laser



Ce sont les différentes possibilités de combinaisons de ces 3 éléments qui font que les lasers ont des propriétés si variées en termes de longueur d'onde, de puissance et de temps d'émission. À l'extérieur du laser, d'autres composantes optiques telles que des miroirs et des lentilles sont utilisées pour diriger, aligner ou concentrer la lumière à des fins spécifiques. Le laser peut être confiné sous un capot ou dans une enceinte munie de portes d'accès, de fenêtres, etc. Cet ensemble est couramment appelé « appareil à laser ».

1.4 Les types de lasers et leurs applications

Les lasers se distinguent par leur milieu actif qui est gazeux, solide, semi-conducteur ou liquide.

Laser à milieu actif gazeux

Les principaux gaz utilisés comme milieu actif sont :

- du dioxyde de carbone (CO_2);
- de l'argon (Ar);
- un mélange d'hélium et de néon (He, Ne);
- du krypton (Kr).

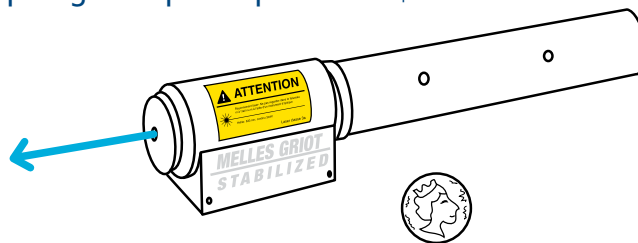
Le mode de fonctionnement n'est pas nécessairement le même d'un laser à gaz à un autre. Par exemple, le laser HeNe utilise un tube scellé dans lequel le gaz est contenu en permanence. Il est très fiable et résistant, mais limité en puissance. Par contre, le laser CO_2 utilise un gaz qui est pompé au travers de la cavité optique, ce qui permet d'obtenir des puissances de sortie élevées de plusieurs kilowatts en émission continue.

La source d'excitation des lasers au gaz est habituellement une décharge électrique. Il peut s'agir d'une impulsion ou de courant continu, selon le laser et son application.

On trouve des lasers à gaz à des longueurs d'onde très variées. Il existe plus de 1 000 longueurs d'onde connues, produites en milieu gazeux. Par exemple :

- Les lasers CO_2 émettent à une longueur d'onde invisible, à 10 600 nm, soit dans l'infrarouge éloigné. Ils sont typiquement utilisés pour couper ou souder les matériaux.
- Les lasers HeNe sont très stables et peuvent être minces comme un crayon. Ils émettent un faisceau de lumière rouge de longueur d'onde de 633 nm. Ils sont entre autres utilisés pour l'alignement, les guides de scie, les lecteurs de code à barres et l'enregistrement vidéo.

Fig. 1.4.1 Le laser HeNe a un diamètre à peine plus grand qu'une pièce de 1 \$.



Laser à milieu actif solide

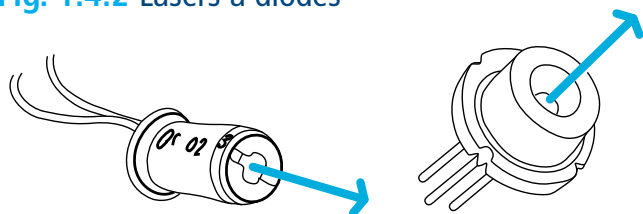
Les lasers à milieu actif solide sont typiquement faits de verre ou de cristaux dans lesquels sont incorporés des dopants (des impuretés qui sont en fait des ions) et qui constituent la partie active du milieu. Par exemple :

- le rubis contient des ions de chrome trivalent; la longueur d'onde émise est de 694 nm;
- le grenat d'yttrium et d'aluminium est dopé au néodyme (laser YAG: Nd); la longueur d'onde émise est de 1064 nm.

Les lasers à milieu actif solide sont habituellement utilisés dans un mode impulsionnel. Ils sont excités par la lumière émise par une lampe à arc très intense ou encore par un autre laser.

La puissance d'émission en mode continu d'un laser YAG varie généralement de quelques watts à une centaine de watts. Les puissances de crête peuvent atteindre les gigawatts (10^9 watts) pendant quelques nanosecondes (10^{-9} secondes).

Fig. 1.4.2 Lasers à diodes



Laser à milieu actif semi-conducteur (diodes laser)

Ce type de laser ne doit pas être confondu avec les lasers à milieu actif solide. Ces lasers peuvent être utilisés comme source d'excitation optique pour d'autres lasers. Ils sont très compacts et résistants. Ils peuvent être facilement intégrés dans une multitude de produits tels que des imprimantes lasers, des lecteurs CD et des détecteurs de fumées.

Les diodes de ces lasers sont fabriquées de matériaux semi-conducteurs comme l'arséniure de gallium (GaAs) ou l'arséniure de gallium dopé à l'aluminium (GaAlAs). La source d'excitation est électrique. Le marché regorge maintenant de diodes laser. L'évolution de leurs caractéristiques et la diminution de leur prix a grandement bénéficié de toutes les avancées dans le domaine des semi-conducteurs utilisés pour les technologies de l'information. On retrouve maintenant des dispositifs présentant des longueurs d'onde allant de l'UV au moyen d'infrarouges et dont la puissance et l'efficacité de conversion énergétique sont élevées et leur puissance de sortie est très variable; de quelques milliwatts à plusieurs watts. La combinaison de plusieurs diodes permet aussi d'augmenter la puissance de sortie.

Laser à milieu actif liquide

Les lasers au liquide utilisent des liquides actifs qui sont des composés colorants (dyes) comme les coumarines et les rhodamines.

L'élément le plus remarquable chez les lasers au liquide est leur possibilité d'ajustement. En choisissant le bon colorant et en ajustant la concentration, il est possible d'ajuster le laser à une longueur d'onde précise à l'intérieur d'un grand intervalle s'étendant de l'ultraviolet à l'infrarouge proche.

La source d'excitation des lasers au liquide est optique. Elle se fait souvent par un autre laser de plus courte longueur d'onde. La puissance de sortie peut atteindre quelques watts.

Lasers excimères

Les lasers excimères émettent dans l'ultraviolet. Ils utilisent des gaz qui réagissent chimiquement entre eux pour exciter le milieu actif. Ils sont reconnus pour avoir une très grande précision et sont suffisamment puissants pour travailler les matériaux. Ils ont comme particularité de pouvoir enlever de la matière sans créer de chaleur, contrairement aux autres types de lasers. Cette particularité est nommée « photoablation ».

Compte tenu de ces caractéristiques, les lasers excimères sont utilisés en médecine pour enlever les dépôts dans les artères par exemple, ou encore pour corriger la vue en modifiant la courbure de la cornée. On les retrouve aussi dans le secteur industriel pour des applications de grande précision. Ils peuvent servir de source d'excitation pour les lasers à milieu actif liquide.

QU'EST-CE QU'UN LASER ?

TABLEAU SYNTHÈSE : LES TYPES DE LASERS LES PLUS COURANTS ET LEURS APPLICATIONS

Type de laser	Longueur d'onde (nm)	Type d'émission	Applications
Lasers à milieu actif gazeux			
Argon (Ar)	488 (bleu), 514 (vert)	Continu	Médecine, spectacles, photogravure
Krypton (Kr)	476 (bleu), 528 (vert), 568 (jaune), 647 (rouge)		Holographie, spectroscopie, télémétrie
Hélium Néon (HeNe)	633 (rouge)		Médecine, alignement, construction, pointeur laser, lecteur de code à barres
Dioxyde de carbone (CO ₂)	10 600 (infrarouge éloigné)	Continu ou impulsionnel	Découpage, perçage, marquage, soudage, traitement thermique
Lasers à milieu actif solide			
Rubis	694 (rouge)	Impulsionnel	Micro usinage, télémétrie, holographie
YAG : Nd	1 064 (infrarouge proche)	Impulsionnel ou continu	Soudage, perçage, nettoyage, gravure
YAG : Nd doublé	532 (vert)		
Lasers à milieu actif semi-conducteur (diodes laser)			
Jonction p-n ou p-i-n de semi-conducteurs (plusieurs paires de matériaux disponibles: AlGaAs/GaAs, InGaN/GaN, InGaAsP/InP, etc.)	Longueurs d'onde allant de l'UV (280 nm) au moyen infrarouge (3500 nm). La variété disponible évolue très rapidement	Continu ou impulsionnel	Pointeurs laser, stockage de données, pompage d'autres lasers, télécommunication, systèmes de détection, spectroscopie
Lasers à milieu actif liquide			
Rhodamine 6G	Ajustable 570-650	Continu	Spectroscopie, recherche biomédicale, étude des matériaux
Lasers excimères			
Fluorure d'argon	193 (ultraviolet)	Impulsionnel	Médecine, marquage
Chlorure d'argon	308 (ultraviolet)		
Fluorure de xénon	351 (ultraviolet)		

Il existe sur le marché des équipements de soudage hybride arc-laser. Il s'agit d'une torche de soudage qui permet de jumeler le soudage laser YAG ou CO₂ (qui permet une grande vitesse de soudage) avec un arc électrique de type traditionnel (qui offre plus de souplesse dans les opérations).

1.5 Les fibres optiques transportent la lumière laser

Le terme fibre optique réfère à des tiges de verre ou de plastique de petit diamètre qui agissent comme guide pour transporter la lumière.

Les fibres optiques sont très utilisées dans le secteur des télécommunications où elles sont reliées à des sources laser. Elles offrent beaucoup d'avantages pour la transmission de données par rapport aux câbles de cuivre conventionnels. Elles sont de petites dimensions (0,1 à 0,2 mm), légères, résistantes à la chaleur et offrent peu de perte de signal tout en transmettant de grandes quantités d'informations. Par contre, les câbles de fibres optiques sont plus friables et ne peuvent pas être étirés ou pliés sur un petit rayon. De plus, des techniques spéciales doivent être utilisées pour épisser les fibres.

Les fibres optiques sont aussi utilisées pour des applications industrielles. Elles permettent d'acheminer un faisceau laser sans utiliser un système de miroirs, éliminant ainsi les problèmes d'alignement. Dans ces cas, les fibres doivent être en mesure de supporter une haute puissance sans s'endommager.

Elles transmettent très bien le rayonnement visible et infrarouge proche. Certaines fibres transmettent l'infrarouge moyen, mais on retrouve encore très souvent des systèmes où le faisceau se propage dans un tube et est dirigé par l'intermédiaire de miroirs jusqu'à la station de travail finale. L'alignement des miroirs est alors critique.

À toute fin pratique, l'extrémité d'une fibre optique peut être assimilée à une source laser, à moins qu'elle ne soit connectée à un système qui empêche la lumière laser de s'en échapper.

Une fibre optique confine le laser en son sein. Attention toutefois à bien respecter les conditions qui assurent l'intégrité de la fibre : propreté des connecteurs, rayons de courbures pas trop serrés, aucune attache appliquant une contrainte mécanique forte et localisée (pinces). Dans le cas contraire, une rupture catastrophique de fibre pourrait survenir, ou une fuite de l'énergie aux points de contrainte de la fibre, qui pourrait provoquer une exposition aux yeux, des brûlures et même des incendies.

Fig. 1.5.1 Câble de fibres optiques

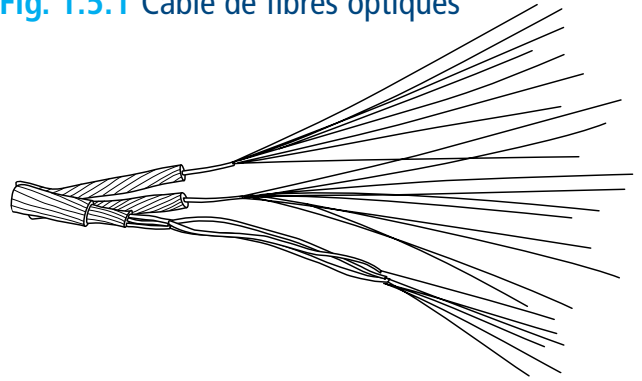
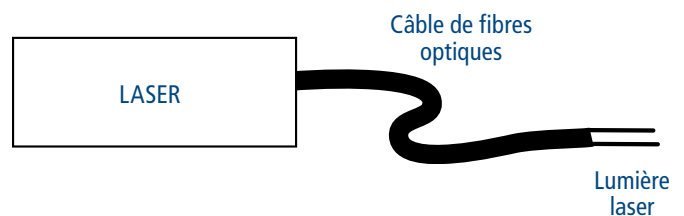


Fig. 1.5.2 L'embout d'un câble de fibres optiques émet un rayonnement laser



À retenir

Qu'est-ce qu'un laser?

- La lumière laser est concentrée en un faisceau.
- La lumière laser peut être visible ou invisible.
- Un laser est caractérisé par sa longueur d'onde, sa puissance et son type d'émission.
- Les principaux types de lasers sont gazeux, solides, liquides ou semi-conducteurs (à diode).
- Les fibres optiques servent à transporter la lumière laser et peuvent dans certains cas être assimilées à une source laser.

Partie 2

Les dangers associés au rayonnement laser

2.1 Les blessures

Les blessures aux yeux et à la peau peuvent être d'origine thermique ou photochimique dépendant de la longueur d'onde du laser.

Les blessures aux yeux

L'œil est sans contredit la partie du corps la plus sensible au rayonnement laser. L'exposition à un faisceau laser peut survenir de différentes façons.

Les blessures aux yeux sont causées par une absorption du rayonnement. Les différentes parties de l'œil n'absorbent pas de la même façon toutes les longueurs d'onde du rayonnement. Certaines sont absorbées par la surface de l'œil tandis que d'autres sont absorbées par la rétine, créant ainsi des lésions différentes (voir fig. 2.1.3).

Photokératites

Les photokératites sont des blessures douloureuses à la cornée. Le « flash du soudeur » est une forme de photokératite. Elles sont causées par l'absorption des longueurs d'onde de l'ultraviolet proche et moyen (180 à 390 nm) par la cornée. Malgré la douleur, elles ne laissent habituellement pas de séquelles. Les symptômes des photokératites ne se manifestent pas immédiatement après l'exposition mais plutôt quelques heures plus tard.

Brûlures de la rétine

Aux longueurs d'onde visibles et infrarouges proches (400 à 1 400 nm), la cornée et le cristallin agissent comme une loupe qui focalise la lumière sur la rétine. La rétine peut donc subir une concentration de puissance de 10 000 à 100 000 plus élevée que celle qui peut être mesurée à la surface de l'œil. Cette densité de puissance peut être suffisante pour causer une brûlure ou même une perforation de la rétine, causant une perte de la vision localisée et permanente. Cette lésion peut se manifester sous forme d'une tache noire, d'une perte de sensibilité ou d'une perte d'acuité visuelle. La zone de la rétine responsable de l'acuité visuelle maximale est très petite. Il n'est pas nécessaire que les dommages soient très étendus pour

Fig. 2.1.1 Exposition au rayonnement laser

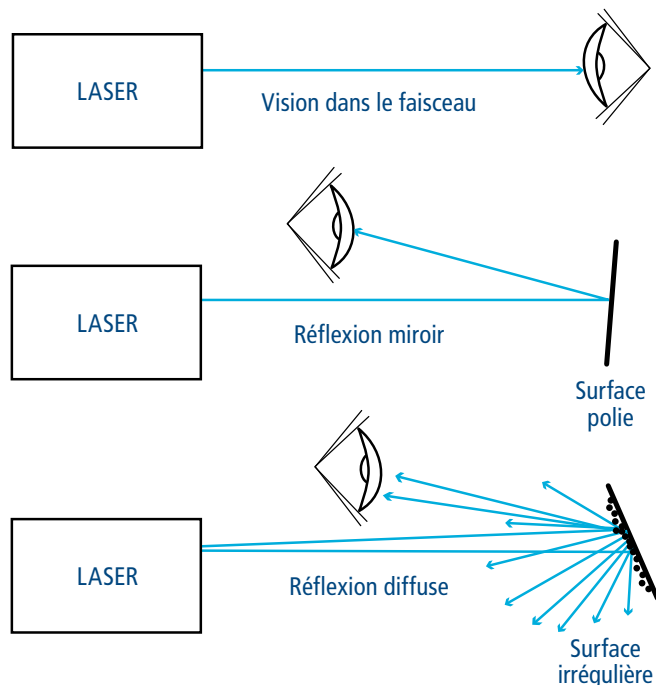


Fig. 2.1.2 Schéma de l'œil

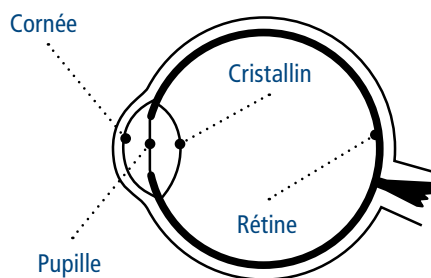


Fig. 2.1.3 Absorption du faisceau par l'œil selon la longueur d'onde utilisé

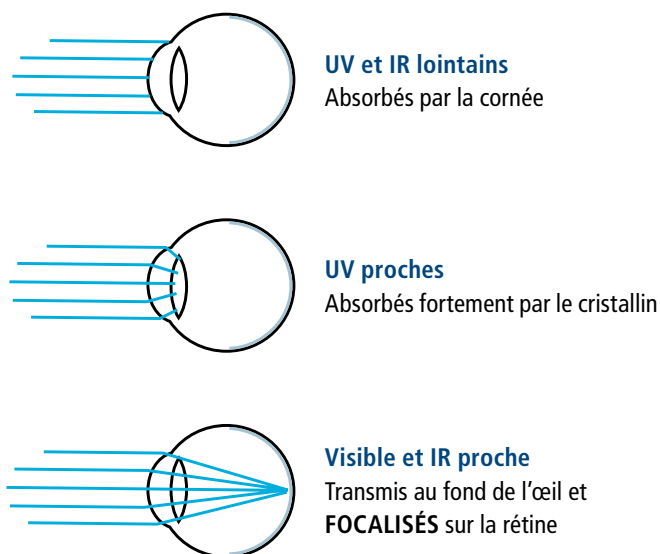
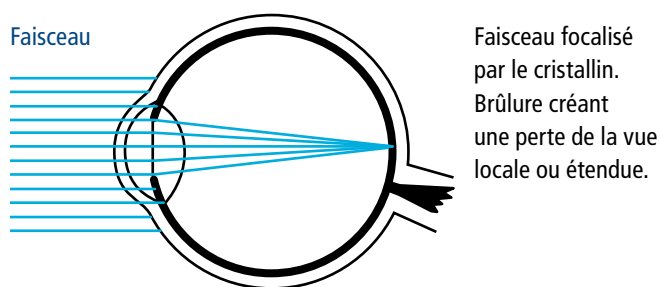


Fig. 2.1.4 Focalisation du faisceau par la cornée et le cristallin sur la rétine



causer des incapacités considérables. Dans les pires cas, l'étendue des brûlures peut être suffisante pour rendre complètement aveugle. **Le rayonnement infrarouge proche n'est pas perçu par l'œil, mais se rend tout de même jusqu'à la rétine.**

Cataractes

L'absorption de rayonnement ultraviolet proche et d'infrarouge moyen et éloigné peut occasionner le développement de cataractes suite à une exposition à court ou plus long terme. L'absorption du cristallin est particulièrement forte, soit autour de 350 nm. La cataracte est l'opacification du cristallin, qui crée une vision voilée. Les effets de la radiation sur le cristallin sont cumulatifs.

Brûlures

La cornée peut subir des brûlures dues au rayonnement infrarouge moyen ou éloigné. Une brûlure superficielle guérira d'elle-même, en l'espace de quelques jours. Par contre, une brûlure profonde ou voire même une perforation produira une opacité permanente et pourrait nécessiter une intervention chirurgicale.

Les effets sur la peau

Les blessures à la peau causées par les lasers peuvent être de nature thermique (brûlures) ou photochimique (similaire à un coup de soleil). Les lasers à impulsions très courtes et ayant des puissances de crête élevées peuvent provoquer une onde de choc susceptible de détruire localement les tissus de la peau. Cet effet peut également se manifester pour les tissus de l'œil.

Coups de soleil (érythèmes), cancer et vieillissement prématuré de la peau

Les coups de soleil, le cancer de la peau et le vieillissement prématuré de la peau peuvent se manifester suite à des expositions au rayonnement ultraviolet et plus spécifiquement dans l'intervalle de 200 à 380 nm. Les effets les plus sévères se produisent suite à des expositions aux ultraviolets moyens (UVB; 280 à 315 nm). Les effets des UV sur la peau sont cumulatifs.

Brûlure et sécheresse excessive

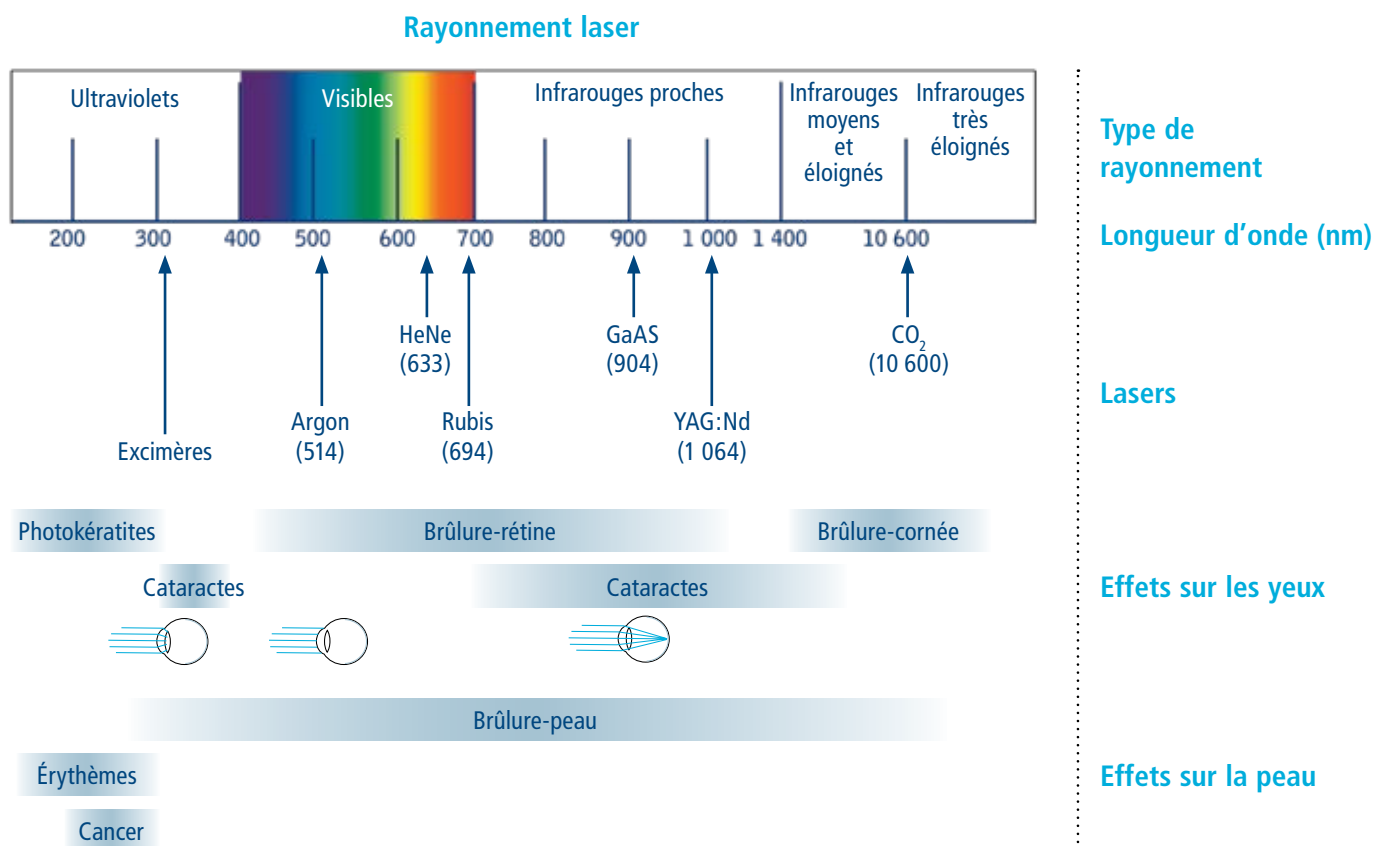
Une exposition aux infrarouges, dans la région de 700 à 1000 nm, cause des brûlures de la peau ou une sécheresse excessive de la peau.

LES DANGERS ASSOCIÉS AU RAYONNEMENT LASER

Les risques de blessures selon le type de laser

Même si l'accent a été mis sur la longueur d'onde du laser, il est important de savoir que la puissance, le type d'émission et la durée d'exposition influencent aussi la gravité des blessures aux yeux et à la peau.

Fig. 2.1.5 Effets du rayonnement laser sur les yeux et sur la peau selon les longueurs d'onde



2.2 Les lasers sont-ils tous dangereux ?

Non, les lasers ne sont pas tous dangereux. L'œil peut absorber une certaine quantité de rayonnement sans danger mais cette quantité est **très** faible. Les limites sécuritaires de rayonnement sont indiquées dans la norme *ANSI Z136.1 American National Standard for Safe Use of Lasers* ou encore dans la norme européenne *CEI 60825-1 Sécurité des appareils à laser – Partie 1 : Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur*. Ces limites sont nommées « valeurs d'exposition maximale permise » ou encore « valeurs EMP ».

Il est possible de mesurer la quantité de rayonnement d'un laser à l'aide d'un appareil spécialisé ou encore de calculer l'étendue de la zone à l'intérieur de laquelle les limites sécuritaires sont dépassées.

Ces mesures ou ces calculs sont fastidieux. Il existe un moyen beaucoup plus simple d'évaluer dans un premier temps les risques associés au rayonnement laser. Il s'agit d'utiliser la classification des appareils à lasers.

2.3 Estimer le danger à l'aide du système de classification

Les normes de référence établissent un système de classification des lasers selon la quantité de rayonnement accessible pendant leur usage normal. Ce système de classification vise à informer simplement et rapidement l'utilisateur des risques encourus. Plus le chiffre de la classe est élevé, plus le risque de blessure est important. Les classes de laser sont : 1, 1M, 1C, 2, 2M, 3R, 3B et 4. Voici une brève description au tableau de la page suivante de chacune de ces classes et des risques qui s'y rattachent.



LES DANGERS ASSOCIÉS AU RAYONNEMENT LASER

CLASSIFICATION DES LASERS SELON LA NORME ANSI ET LES DANGERS CORRESPONDANTS

CLASSE 1	Faisceau direct ou réfléchi	Réflexion diffuse	Risque d'incendie
Lasers considérés comme sans danger dans toutes les situations d'utilisation prévisibles soit parce que : - l'émission est assez faible pour ne pas créer de lésions (limite très basse, peu de lasers sont dans cette catégorie à cause de leur faible émission) - la conception de l'appareil empêche d'accéder au rayonnement dangereux <i>Ex. lecteur CD, pointeur laser de très faible puissance</i>			
CLASSE 1M Lasers considérés comme sans danger si l'œil nu est exposé, peuvent toutefois être dangereux si regardés à travers un instrument optique grossissant (loupes, télescopes). Les lunettes de lecture ne sont pas considérées comme étant à risque. S'applique aux lasers dont le rayonnement est très divergent. <i>Ex. ligne laser</i>	Dangereux si un instrument d'optique est utilisé		
CLASSE 1C Appareil destiné au contact avec la peau ou des tissus non oculaires et équipé de moyens techniques pour empêcher l'exposition de l'œil. <i>Ex. appareil pour détatouage</i>	Peut être dangereux pour la peau		
CLASSE 2 Lasers visibles ($\lambda = 400-700\text{nm}$) considérés comme sans danger si le réflexe d'aversion (fermer les yeux et tourner la tête) est possible. La vision intentionnelle du faisceau pourrait s'avérer dangereuse. Éviter de regarder directement le faisceau. Correspond à 1mW pour une émission continue. <i>Ex. pointeurs laser, laser de visée, détecteur de présence</i>	Dangereux si $t > 0.25\text{s}$		
CLASSE 2M Laser visibles ($\lambda = 400-700\text{nm}$) qui ne sont pas dangereux pour la vision directe à l'œil nu pour de courtes durées mais qui sont dangereux si un instrument d'optique est utilisé. Il est à noter que des lunettes de correction pour la vue ne sont pas considérées comme des instruments d'optique. <i>Ex. lecteur code barre</i>	Dangereux si $t > 0.25\text{s}$ ou instrument d'optique utilisé		
CLASSE 3R Laser dont la puissance est limitée à 5x la valeur de la classe 1 (ou de 5x la classe 2 dans le visible, soit 5mW) Les risques de blessure sont limités pour l'exposition de courte durée et le risque que la vision soit affectée de façon permanente faible. <i>Ex. niveau laser, numérisation laser, capteurs</i>	Dangereux si $t > 0.25\text{s}$ ou si un instrument optique est utilisé		
CLASSE 3B Lasers excédant la limite de la classe 3R, mais émettant moins de 500mW (émission continue) ou moins de 0.125J / impulsion (émission impulsionnelle). <i>Ex. la plupart des lasers de recherche, plusieurs dispositifs d'analyse</i>	Dangereux pour les yeux et la peau, même pour une courte durée		
CLASSE 4 Tous les lasers dépassant les limites des classes précédentes. Beaucoup de lasers entrent dans cette catégorie. Leur usage requiert des mesures de sécurité importantes. <i>Ex. lasers de découpe, de marquage, de chirurgie, de soudure</i>	Très dangereux pour les yeux et la peau	Dangereux pour la peau et les yeux	Oui

La classification d'un laser est une façon d'évaluer le danger qu'il représente. Par exemple :

- Les normes CAN/CSA E60825-1, CEI 60825-1 et ANSI Z136.1 sont harmonisées et établissent les références pour le système de classification. Il est recommandé de les consulter.
- Un laser de classe 1, 1M ou 1C ne présentera en pratique aucun danger pour l'œil.
- Le rayonnement d'un laser de classe 3B risque de créer des blessures aux yeux. Si le rayonnement est visible, la rétine risque d'être affectée. S'il émet dans l'infrarouge éloigné (invisible), la cornée risque de subir des brûlures et si l'exposition est journalière, des cataractes pourraient se développer.

À retenir

Les dangers associés au rayonnement laser

- Les faisceaux laser peuvent causer des blessures aux yeux et à la peau.
- Les blessures à la rétine causent une perte permanente et habituellement localisée de la vision.
- Les faisceaux laser ne sont pas tous aussi dangereux les uns que les autres.
- La classe d'un laser permet d'estimer le danger dû au rayonnement :
 - Classe 1, 1M et 1C : peu dangereux
 - Classe 2, 2M et 3R : normalement peu dangereux à moins de regarder dans le faisceau de manière intentionnelle. Le port de l'équipement de protection individuelle est fortement recommandé pour les lasers de classe 3R dont la radiation est invisible.
 - Classe 3B et 4 : dangereux, le port de l'équipement de protection individuelle est obligatoire.

Partie 3

Se protéger du rayonnement laser

3.1 Un appareil à laser vs un laser

Un appareil à laser est une combinaison de composants qui incorpore un ou plusieurs lasers. Un appareil à laser ayant une classification donnée peut contenir un ou plusieurs lasers de différentes classes. En voici deux exemples :

Exemple 1

Lorsque le personnel utilisateur se trouve en présence d'un appareil à laser classe 1, il n'existe aucun danger de rayonnement qui pourrait dépasser les limites permises.

Par contre, le personnel spécialisé pour l'entretien, les réglages ou les réparations doit accéder à l'intérieur de l'enceinte ou du capot et peut être exposé à des niveaux de rayonnement dangereux.

Des mesures de sécurité distinctes doivent être mises en place pour réduire le risque associé au rayonnement.

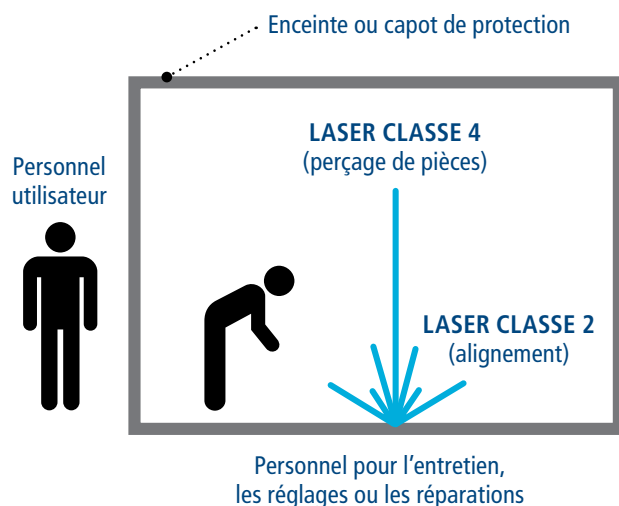
Fig. 3.1.1 Appareils à laser classe 1 renfermant des lasers classe 2 et 4

Exemple 2

Les systèmes de transmission laser qui utilisent des câbles de fibres optiques sont considérés comme des appareils à laser de classe 1 parce que le système est « fermé » lorsque tous les connecteurs sont branchés. Par contre, si un câble est déconnecté, il se pourrait qu'un rayonnement laser dangereux soit accessible, tout dépendant du système. Selon les caractéristiques du faisceau, il pourrait s'agir d'un laser classe 2, 2M, 3R, 3B ou 4.

Le point de départ pour évaluer et contrôler les risques associés au rayonnement laser est de se référer au système de classification des appareils à laser. Différents moyens de contrôle, règles de sécurité et procédures s'appliquent selon la classe de laser en jeu. Il s'agit essentiellement de réduire la possibilité d'être exposé à un niveau de rayonnement dangereux.

Les lasers commerciaux sont certifiés par le manufacturier et incorporent des moyens de contrôle. Les moyens de contrôles techniques (enceintes, interverrouillages, obturateurs, etc.) doivent toujours être privilégiés par rapport à l'utilisation de protecteurs oculaires.



3.2 Apprendre à reconnaître les risques

L'identification des risques est la première étape pour bien planifier les mesures à mettre en place. Les éléments suivants sont des sources potentielles de radiation directe ou réfléchie :

- l'ouverture de la source laser
- le faisceau laser émis par une tête de traitement
- la sortie des fibres optiques
- le faisceau laser émis par une unité de balayage
- les éléments optiques de transmission du faisceau laser
- une pièce sous traitement laser (découpe, marquage, soudure, etc.)
- les éléments se trouvant à proximité de la zone de processus laser (système de manipulation, tuyaux d'extraction, etc.)

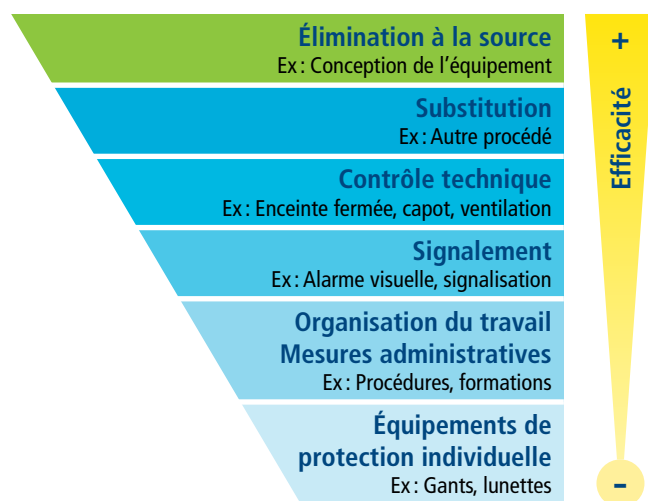
L'émission par les éléments précédents peut aussi survenir suite à des dysfonctionnements ou des désalignements. Le fini de surface et la géométrie des matériaux conditionnent le type de réflexion : spéculaire (directe) ou diffuse.

Certaines situations sont également plus propices aux accidents. Toutes les opérations comportant une part d'imprévu, comme l'alignement ou le dépannage, sont particulièrement à risque. Plusieurs accidents sont également causés par des pratiques de travail non optimales et des facteurs humains tels que le stress ou la fatigue. Finalement, les lacunes en matière de port de lunettes de protection jouent un grand rôle dans le nombre de blessures consécutives à l'exposition. La négligence de porter les lunettes de protection, le port accidentel de lunettes non appropriées au laser, endommagées ou mal ajustées sont toutes des causes répertoriées de blessures.

3.3 Les mesures de sécurité

La meilleure façon de garantir la sécurité des usagers est d'empêcher l'exposition au faisceau laser. On utilise pour garantir la sécurité laser la même hiérarchie de moyens que dans toute autre démarche de sécurité :

Fig. 3.3.1 Hiérarchie des moyens de prévention



Source CNEST

SE PROTÉGER DU RAYONNEMENT LASER

Quand l'élimination à la source ou la substitution n'est pas possible, il faut alors préconiser un ensemble de moyens qui inclut le contrôle technique, la signalisation, l'organisation du travail ainsi que les équipements de protection individuelle par souci d'efficacité. Les tableaux suivants proposent les mesures de sécurité à mettre en œuvre selon la classe de laser de l'équipement ou de l'appareil utilisé.

MESURES DE SÉCURITÉ POUR LES LASERS CLASSE 1, 2, 2M ET 3R				
Classe	Moyens techniques	Règles ou procédures	Protection oculaire	Signalisation
Classe 1, 1M et 1C	—	—	—	L'indication « Appareil à laser de classe 1 » doit apparaître dans le guide de l'utilisateur ou sur l'appareil.
Classe 2 et 2M	Capot de protection pour empêcher l'accès au faisceau durant l'utilisation du laser.	Ne pas regarder dans le faisceau intentionnellement.	Seulement s'il est nécessaire de regarder dans le faisceau.	Des plaques d'avertissement doivent être placées sur les appareils, sur les panneaux d'accès et aux endroits où un rayonnement dangereux peut survenir.
Classe 3R		Formation du personnel.	Seulement s'il est nécessaire de regarder dans le faisceau à l'oeil nu ou à l'aide d'instruments optiques ex. : microscope ⁽¹⁾ .	

(1) Il est à noter que des lunettes de correction pour la vue ne sont pas considérées comme des instruments d'optique.

MESURES DE SÉCURITÉ POUR LES APPAREILS À LASERS CLASSE 1, 2, 3R QUI RENFERMENT DES LASERS CLASSE 3B OU 4				
Classe	Moyens techniques	Règles ou procédures	Protection oculaire	Signalisation
Classe 1, 1M, 1C, 2, 2M ou 3R renfermant un laser classe 3B ou 4	Capot de protection. Interverrouillage des portes d'accès et du capot de protection. Nécessité d'utiliser un outil pour ouvrir les panneaux d'accès ou interverrouillage des panneaux d'accès. Fenêtres d'observation munies de filtres ou d'atténuateurs.	Ne jamais contourner les systèmes de sécurité. Ne pas regarder dans le faisceau. Formation du personnel.	Seulement s'il est nécessaire de regarder dans le faisceau d'un laser classe 2, 2M ou classe 3R.	L'indication « Appareil à laser de classe 1 » doit apparaître dans le guide de l'utilisateur ou sur le laser classe 1. Des plaques d'avertissement doivent être placées sur les appareils à lasers, sur les panneaux d'accès et aux endroits où un rayonnement dangereux peut survenir (pour les lasers classe 2 et 3R).

Les utilisateurs de ces appareils à laser ne sont normalement pas exposés aux lasers de classe 3B ou 4. Par contre, selon les tâches à effectuer, le personnel responsable des réglages et de l'entretien pourrait être exposé. Dans ces cas, ce sont les mesures de sécurité du tableau suivant qui s'appliquent.

MESURES DE SÉCURITÉ POUR LES LASERS CLASSE 3B OU 4

Classe	Moyens techniques	Règles ou procédures	Protection oculaire	Signalisation
Classe 3B ou 4	Utilisation d'une clé ou d'un code pour faire fonctionner le laser. Fenêtres d'observation munies de filtres ou d'atténuateurs. Arrêt de faisceau ou atténuateur. Signal sonore ou visuel. Délimitation d'une zone contrôlée pendant les travaux. Écrans ou rideaux pour réduire l'étendue de la zone contrôlée.	Procédures de travail écrites. Formation et qualification du personnel. Accès limité au personnel autorisé seulement. Procédures d'alignement des faisceaux ou utilisation d'un laser de faible puissance pour réaliser l'alignement.	Absolument nécessaire.	Des plaques d'avertissement doivent être placées à proximité des appareils lasers, sur les panneaux d'accès et aux endroits où un rayonnement dangereux peut survenir.
	Attention ! On retrouve typiquement cette situation dans des laboratoires de recherche où l'environnement de travail est différent d'un milieu industriel de production. Dans un contexte industriel de production, il est fortement recommandé d'appliquer toutes les mesures de sécurité nécessaires afin que l'appareil laser puisse être reclassifié en classe 1, 1M, 1C, 2, 2M ou 3R. Il s'agit de réduire au minimum le risque d'exposition à un rayonnement dangereux. Voir tableau « Appareils à lasers classe 1, 2, 3R qui renferment des lasers classe 3B ou 4 ».			

SE PROTÉGER DU RAYONNEMENT LASER

Fig. 3.3.2 Exemples d'affiches d'avertissement pour zone avec laser (ANSI)

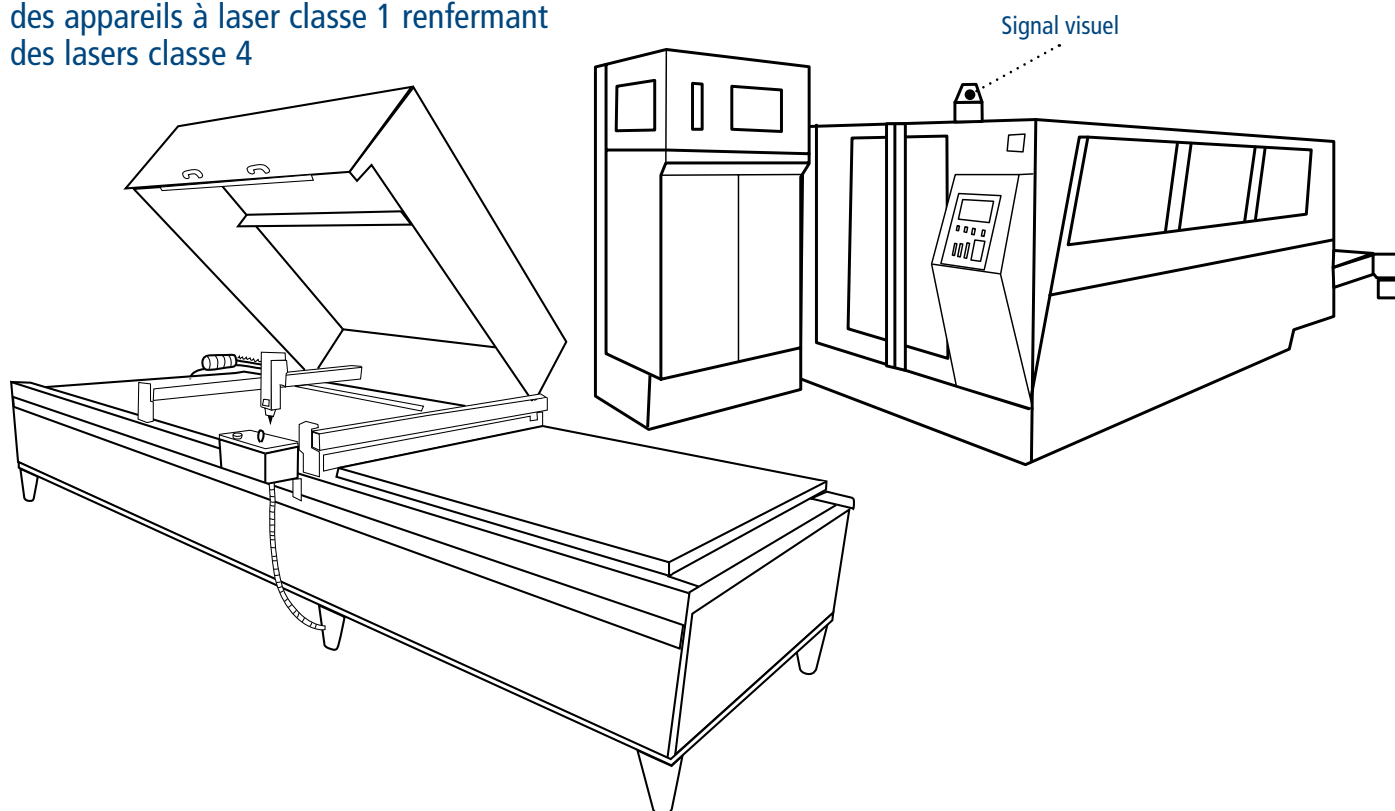


Fig. 3.3.3 Exemple de signalisation correspondant à la norme européenne (noir sur fond jaune)



La signalisation internationale des sources de rayonnement laser est différente de celle indiquée dans la norme ANSI. Le symbole de rayonnement laser et les informations qui se rattachent à l'appareil sont indiqués sur des plaques distinctes. Selon les situations, il peut être exigé que les deux plaques soient apposées côte-à-côte. Les informations à inscrire varient entre autres selon la classe du laser et sont prescrites dans la norme CEI 60825-1 *Sécurité des appareils à laser Partie 1 : Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur*.

Fig. 3.3.4 Exemples de coupeuses qui sont des appareils à laser classe 1 renfermant des lasers classe 4



3.4 Quelques précisions sur les moyens techniques

Zone contrôlée

Une zone contrôlée désigne une zone où seul le personnel autorisé peut accéder. Il s'agit d'une zone à l'intérieur de laquelle il y a un risque d'être exposé à un rayonnement qui pourrait entraîner des blessures. Cette zone correspond habituellement à la zone nominale de danger, telle que la définit la norme ANSI, et dont les limites peuvent être déterminées par calcul. Il est recommandé de faire appel au fabricant ou à un organisme reconnu pour évaluer cette zone. Les zones contrôlées temporairement ou de manière permanente doivent être identifiées à l'aide d'affiches ou panneaux d'avertissement.

Protection oculaire

Une protection oculaire est absolument nécessaire lorsqu'il y a un risque d'être exposé au rayonnement d'un laser susceptible de provoquer des blessures. La protection oculaire a pour fonction d'absorber le rayonnement afin de protéger les yeux. Les verres doivent être conçus pour filtrer la longueur d'onde spécifique du laser utilisé. Pour ce faire, ils doivent posséder, à cette longueur d'onde, une densité optique (optical density, O.D.) suffisante pour atténuer d'une façon sécuritaire l'énergie du faisceau laser. Il ne faut jamais utiliser des lunettes qui sont détériorées.

Le choix du bon protecteur oculaire est complexe et doit être confié à un spécialiste ou à un fournisseur compétent qui devra considérer entre autres les facteurs suivants :

- puissance ou énergie du laser
- longueur d'onde à la sortie du laser
- situations où il peut y avoir plusieurs longueurs d'onde
- concentration de puissance ou d'énergie maximale possible (exposition ou éclairement énergétique)
- valeur d'exposition maximale permise (EMP), telle que prescrite dans la norme et qui tient compte entre autres de la durée d'exposition
- densité optique (O.D.) du verre à la longueur d'onde d'émission du laser

- quantité nécessaire de lumière visible pour assurer une bonne vision
- besoin de lunettes de prescription
- confort et ajustement
- résistance mécanique aux chocs.

La protection oculaire devrait être un des derniers choix dans un programme de prévention relié aux appareils à laser. Des moyens de contrôle techniques devraient être privilégiés parce qu'ils agissent à la source et sont fiables.

Il faut porter une attention particulière aux lasers qui émettent à plus d'une longueur d'onde. Par exemple, les appareils à lasers CO₂ ou YAG peuvent incorporer des lasers d'alignement HeNe. Un laser HeNe émet à une longueur d'onde différente d'un laser CO₂ ou YAG. Selon la classe du laser d'alignement, il peut être dangereux de regarder dans le faisceau. Dans un tel cas, une protection oculaire distincte peut être nécessaire. Par ailleurs, certains lasers peuvent être ajustés pour plus d'une longueur d'onde, ce qui pose un problème pour le choix et la gestion des protecteurs.

Certains procédés lasers, comme le soudage des métaux, émettent des rayonnements semblables à ceux des procédés de soudage conventionnels, en plus du rayonnement laser.

Verrouillage de sécurité

Le verrouillage peut, par exemple, être relié à un obturateur qui interrompt le faisceau lorsque le capot est ouvert ou enlevé. Les dispositifs de verrouillage doivent être à sécurité positive ou à circuit redondant (fail-safe interlock). Le circuit de verrouillage de sécurité peut être relié à un élément extérieur comme un détecteur de présence ou un signal d'ouverture de porte. Le bon fonctionnement des dispositifs de verrouillage doit être vérifié régulièrement.

Commande à clé

Le rayonnement laser n'est plus accessible lorsque la clé est retirée.

Dispositifs d'arrêt du faisceau ou d'atténuation du faisceau

Ces dispositifs doivent empêcher l'accès humain au rayonnement laser dangereux lorsque l'émission laser n'est pas nécessaire, comme par exemple, durant les périodes de « réchauffement » du laser.

Signal sonore ou visuel

Un signal doit être en fonction lorsque le laser est mis en marche, ou si la batterie de condensateurs des lasers à impulsions est en cours de charge ou n'a pas été déchargée de façon certaine.

Écrans

Les matières plastiques comme le polyméthylméthacrylate et le polycarbonate suffisent à bloquer la propagation laser à des longueurs d'onde supérieures à 5 000 nm (infrarouge éloigné). Pour les rayonnements de longueurs d'onde entre 800 et 5 000 nm, il faut disposer de verres spéciaux, ou éventuellement, entre 2 000 et 5 000 nm, de matière plastique suffisamment épaisse. Comme pour les lunettes de protection laser, ces écrans collectifs de protection doivent fournir un facteur d'atténuation certifié par le fabricant.

Fig. 3.4.1
Dispositif pour arrêter
le faisceau

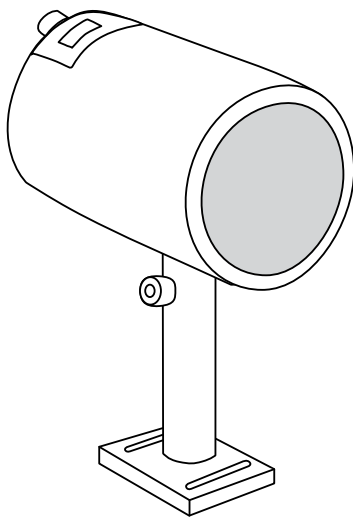
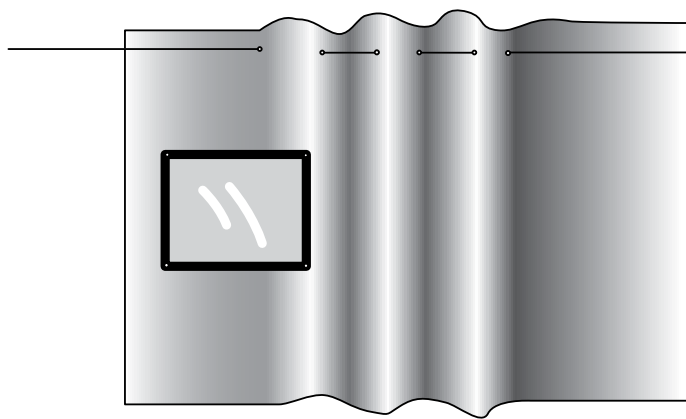


Fig. 3.4.2
Rideaux servant d'écran
au rayonnement laser



3.5 Organisation du travail et mesures administratives

Les méthodes de contrôle technique et de signalements doivent dans certains cas être supplémentées par des mesures administratives. Ces mesures peuvent être constituées d'instructions de travail normalisées, de listes de contrôle à l'ouverture et la fermeture de l'appareil à laser, d'établissement de zones d'exclusions lors d'opérations d'entretien ou de maintenance, etc. De plus, l'employeur doit définir qui doit avoir accès à l'appareil à laser et ne permettre cet accès qu'aux employés ayant reçu une formation sur le fonctionnement de l'appareil à laser et sur la sécurité laser qui s'y applique.

Pour plus de détails

Il est recommandé de consulter la norme *ANSI Z136.1 American National Standard for Safe Use of Lasers* ou la norme *CEI 60825-1 Sécurité des appareils à laser – partie 1 : classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur*.

À retenir

Se protéger du rayonnement laser

- Le but des mesures de sécurité est de protéger les personnes contre un rayonnement susceptible d'occasionner des blessures aux yeux ou à la peau.
- Un appareil à laser peut renfermer plusieurs lasers de classes différentes.
- Les mesures de sécurité varient selon la classe de l'appareil à laser ou du laser.
- Les moyens techniques doivent être privilégiés par rapport au port de protecteurs oculaires.
- Les dangers d'un appareil à laser doivent être bien identifiés sur le laser lui-même ainsi que dans la zone où le rayonnement peut atteindre des niveaux dangereux (symbole, plaque d'avertissement, etc.)
- Il est important de désigner ou de faire appel à une personne responsable de la sécurité laser dûment formée pour la mise en place des mesures de sécurité appropriées. Consulter la page 44 de ce guide pour plus d'information à propos de la formation.

Partie 4

Les autres dangers et comment s'en protéger

La classification des lasers ne tient compte que du danger associé au rayonnement. Pourtant, il existe d'autres formes de dangers tels que l'électrocution ou l'inhalation de poussières toxiques. Cette section présente ces autres dangers ainsi que certains moyens de protection s'y rattachant.

L'électricité

Les risques

Les chocs électriques sont la deuxième cause de blessures dans le travail avec les lasers et touchent surtout les techniciens et le personnel d'entretien.

Les sources d'excitation optique, comme les lampes à arc, et les sources d'excitation électrique nécessitent souvent des tensions d'alimentation électrique élevées, de l'ordre de 600 V jusqu'à plusieurs kilovolts.

Il y a un danger de subir un choc électrique si l'on entre en contact avec ces sources d'alimentation électrique (power supply) ou avec des condensateurs, qui ont la caractéristique de conserver leur charge même lorsque le circuit électrique est débranché, ou encore avec d'autres composantes électriques. Les chocs électriques peuvent survenir durant des opérations d'installation, d'entretien ou d'ajustement des lasers, lorsque les couvercles et les panneaux de protection sont enlevés pour effectuer ces travaux.

Il est très difficile de prévoir les effets d'un choc électrique qui peuvent être aussi variés qu'un simple pincement, une tétanisation musculaire ou une fibrillation cardiaque qui sera mortelle. L'effet d'un choc électrique dépend de plusieurs facteurs comme la tension électrique, la position dans laquelle la personne se trouve, la partie du corps qui entre en contact avec un élément sous tension, etc.

Des cas de mortalité sont déjà survenus durant les opérations d'entretien et d'ajustement de lasers incorporant des sources d'alimentation à haut voltage. Les problèmes suivants ont été observés :

- terminaux non couverts ou mal isolés
- panneaux d'avertissements cachés
- manquements dans les mesures de sécurité à suivre durant les tâches d'entretien, d'ajustements et de réparations
- manquements dans le déchargement et la mise à la terre des condensateurs
- mise à la terre des équipements laser absente ou déficiente
- déficiences dans la procédure de cadenassage.

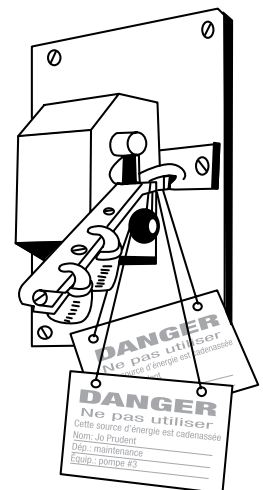
Les mesures de sécurité

Le meilleur moyen de se prémunir contre les chocs électriques est de travailler hors tension dans tous les cas où il est possible de le faire. Si le travail doit se faire sous tension, il est alors recommandé d'établir des procédures de travail et d'utiliser des équipements de protection.

En somme, il faut :

- effectuer la mise hors tension durant les travaux d'entretien
- appliquer une procédure de cadenassage
- munir les panneaux de protection des équipements électriques de dispositifs de sûreté (sectionneur, disjoncteurs, etc.) qui enlèvent la tension, court-circuitent les condensateurs ou relient automatiquement certaines composantes à la terre advenant l'ouverture de ces panneaux
- vérifier l'isolation des câbles d'alimentation électrique et l'état des câbles de mise à la terre
- identifier les équipements électriques et mettre en place des plaques d'avertissement
- porter des équipements de protection individuelle : chaussures à semelles isolantes approuvées CSA, lunettes de sécurité, gants isolants, etc.

Fig. 4.1.1 Cadenas et étiquettes



LES AUTRES DANGERS ET COMMENT S'EN PROTÉGER

L'éblouissement et le rayonnement durant le soudage

Durant le soudage, un panache brillant, similaire en apparence à un arc électrique, est généré par l'interaction entre le faisceau laser et le matériel transformé. La dimension et l'intensité de ce panache dépendent du matériel, du niveau de puissance et du gaz de protection utilisé. Le rayonnement de ce panache, très brillant et difficile à regarder directement, s'étend de l'ultraviolet en passant par le visible jusqu'à l'infrarouge. Il peut être contrôlé par l'utilisation de fenêtres faites de matériaux absorbants tels que certains plastiques. Il peut être nécessaire de choisir des matériaux qui ont des composantes jaunes ou ambrées telles que des écrans de soudeur, afin de protéger les yeux. Cette lumière blanche et brillante est observée le plus fréquemment dans le cas de lasers puissants tels que le YAG : Nd et le CO₂.

Les contaminants

Les risques

Les opérations de soudage, de coupage et de tout autre travail sur des matériaux à l'aide de lasers, produisent des contaminants sous forme gazeuse et sous forme de fines particules. Ils peuvent être inhalés profondément dans les poumons et entraîner des effets nocifs sur la santé : irritation des voies respiratoires, allergies, fibroses, cancer, intoxication, etc.

Voici quelques exemples qui illustrent la variabilité des contaminants et de leurs effets sur la santé :

- La coupe de fibre de verre à l'aide d'un laser peut générer des particules de verre de diamètres allant de 400 µm à 1 µm. Ces fines particules, si elles sont inhalées, se rendront jusqu'aux alvéoles des poumons et créeront à long terme des fibroses qui diminueront les capacités respiratoires de la personne exposée.
- La coupe des plastiques et des matériaux composites génère une panoplie de produits de décomposition tels que du benzène, du formaldéhyde, du chlorure de benzyle ou des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA). Tous ces produits sont toxiques pour la santé et leurs effets varient de la simple irritation des voies respiratoires au cancer.
- Le soudage et le coupage des métaux génèrent des fumées et des poussières dont la composition varie selon les alliages utilisés. Les effets sur la santé seront plus ou moins importants selon la nature des contaminants. Par exemple, l'inhalation de poussières d'un alliage contenant du béryllium pourra entraîner une béryllose qui est une affection grave et incurable des poumons.

Le choix du gaz de protection dans les procédés au laser peut également jouer un rôle dans la production de contaminants. Par exemple, l'utilisation d'argon comme gaz de protection dans la coupe du Kevlar™ intensifierait la formation de benzène.

Il est donc important dans un premier temps de se référer aux fiches signalétiques des matériaux utilisés pour tenter de connaître leur composition, leurs produits de décomposition et leurs effets sur la santé.

Les mesures de sécurité

Peu importe les contaminants émis, le captage à la source demeure sans contredit un excellent moyen de contrôler et d'évacuer les poussières, les gaz et les vapeurs générés par les procédés au laser. Par exemple, il est possible d'utiliser une table aspirante, une buse de captage ou encore une enceinte ventilée.

Fig. 4.1.2
Table aspirante
pour coupage
au laser

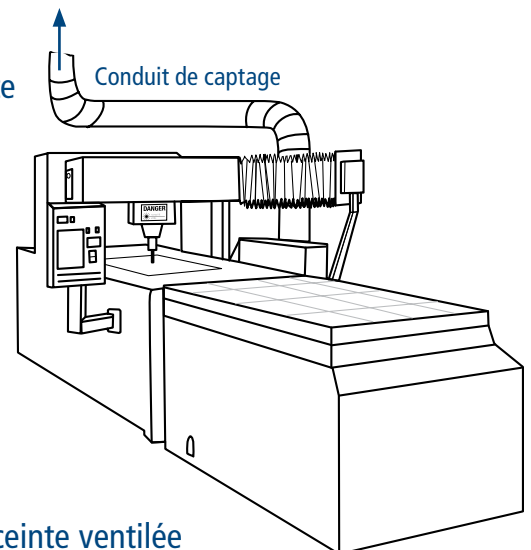
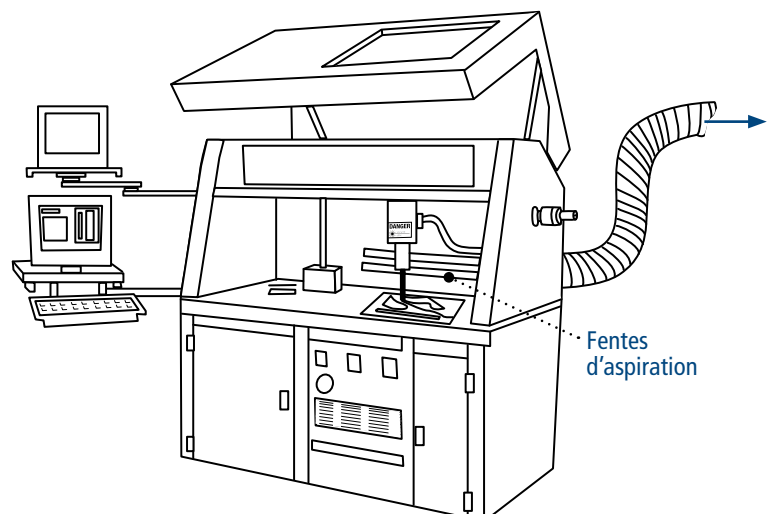


Fig. 4.1.3 Enceinte ventilée



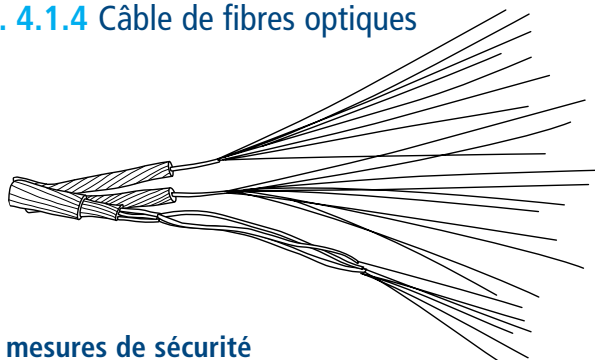
La manipulation de fibres optiques

Les risques

La fibre optique est un média de transmission optique fait de verre ou de plastique, qui guide les ondes de lumière laser sur de longues distances et avec peu de pertes. Il existe un danger causé par la présence de fines particules de verre au moment de fendre ou d'épisser les câbles. Dans le secteur des télécommunications, le diamètre des fibres optiques est de 0,1 à 0,2 mm. Des précautions doivent être prises pour prévenir l'incrustation des fibres dans les vêtements ou dans la peau ainsi que pour prévenir l'ingestion de ces particules.

Des produits chimiques peuvent également être utilisés pour nettoyer et dénuder (stripping) les fibres.

Fig. 4.1.4 Câble de fibres optiques



Les mesures de sécurité

Il est recommandé de prévoir un système de captage lorsque des produits chimiques et des solvants sont utilisés pour nettoyer et dénuder les fibres.

Des règles de sécurité doivent être mises en place lorsqu'il y a des manipulations de fibres optiques, par exemple :

- garder toute nourriture ou breuvage hors des aires de travail
- éviter de se toucher les yeux
- se laver les mains une fois les manipulations terminées
- jeter les retailles dans des contenants appropriés
- ne jamais utiliser d'air comprimé pour nettoyer les surfaces de travail ou ses vêtements. Utiliser plutôt un aspirateur
- utiliser des gants et un appareil de protection respiratoire selon la nature du travail
- éviter l'utilisation de chaises en tissu car des débris de fiches peuvent s'y inscruter et blesser par la suite.

La manutention des gaz comprimés

Les risques

L'azote liquide est utilisé pour le refroidissement de certains lasers. Il peut causer des brûlures par le froid en cas de contact cutané.

De manière générale, les gaz comprimés présentent des risques pour la sécurité :

- renversement d'une bouteille qui peut causer un bris et provoquer une violente projection de la bouteille
- explosion ou réaction chimique en cas de fuite de gaz inflammables ou de gaz incompatibles.

Les mesures de sécurité

Différents moyens peuvent être mis en place pour réduire les risques d'accidents et de blessures :

- établir des procédures pour la manutention et l'entreposage des gaz comprimés
- utiliser un chariot, une plate-forme ou tout autre équipement conçu pour transporter les bouteilles
- s'assurer que le chapeau de protection est en place sur les bouteilles non utilisées
- attacher les bouteilles pour empêcher leur renversement
- entreposer les bouteilles en respectant leur compatibilité ainsi que les quantités et les distances réglementaires.

LES AUTRES DANGERS ET COMMENT S'EN PROTÉGER

L'utilisation de liquides toxiques

Les risques

Les solvants et les colorants utilisés dans les lasers à liquide sont toxiques et parfois cancérogènes. Leur manipulation, comme le changement de colorant ou le changement de concentration nécessite des précautions.

Les mesures de sécurité

Il est primordial de consulter les fiches signalétiques des produits utilisés et d'adopter des moyens de contrôle pour protéger la santé des utilisateurs :

- assurer le captage des vapeurs toxiques
- prévoir un contenant de rétention en cas de déversement accidentel
- offrir des équipements de protection individuelle adaptés aux produits manipulés tels qu'un appareil de protection respiratoire, des gants, un survêtement, une visière, etc.

Les incendies

Les dangers

Les lasers classe 4 sont suffisamment puissants pour enflammer des matières combustibles ou inflammables qui se trouvent dans l'environnement de travail: produits usinés, papiers, vêtements de l'opérateur, etc.

Les mesures de sécurité

- éloigner les matières combustibles ou inflammables
- installer des extincteurs près des postes de travail
- s'assurer que les panneaux de protection et les verrouillages sont fonctionnels avant d'actionner le laser
- nettoyer l'accumulation de poussières résultant des opérations de transformation des matériaux.

De manière générale

Les lasers offerts sur le marché canadien doivent être construits de façon à répondre à certaines normes de conception et de sécurité. Ainsi, lorsqu'il s'agit de faire une évaluation des risques pour un laser donné, on dispose au départ de renseignements très utiles, ceux qui sont inscrits sur le boîtier du laser ou publiés dans le manuel d'opération et d'entretien obligatoirement fourni par le fabricant. La plupart du temps, ces renseignements suffisent pour porter un jugement de valeur sur le niveau de risque d'un laser donné, en se référant aux règles de sécurité applicables aux différentes classes de laser.

À retenir

Les autres dangers et comment s'en protéger

- Il existe d'autres dangers que ceux reliés au rayonnement : électrocution, éblouissement, intoxication, incendie, etc.
- Les chocs électriques sont le deuxième type de blessures, après celles causées par le rayonnement, chez le personnel affecté à l'entretien et à la réparation des appareils à laser.
- Les manuels d'utilisation fournis par les manufacturiers contiennent de précieuses informations qui permettent d'évaluer le niveau de risque des appareils à laser et d'établir des mesures de sécurité.

Partie 5

Utilisation de lasers en milieu manufacturier

5.1 Adapter la protection au niveau du risque d'exposition au laser

Le secteur manufacturier comporte quelques particularités dont il faut tenir compte pour bien garantir la sécurité des travailleurs. L'approche d'élimination ou de substitution ne convient généralement pas, car les appareils et systèmes laser sont choisis précisément pour des qualités qu'aucun autre moyen ne peut offrir. Les équipements utilisant les lasers en milieu manufacturier sont soit de classe 1 (si le laser est confiné à l'intérieur d'une enceinte complètement fermée) ou parfois de classe 4 (si le laser est utilisé sans protection et orienté manuellement).

Plusieurs types de dispositifs laser peuvent cohabiter dans le même environnement manufacturier. Certains sont très dangereux à cause de leur concentration de puissance destinée à travailler les matériaux (découpe, marquage, soudage), d'autres étant de puissance plus modeste et utilisés pour leurs qualités de directionnalité ou monochromaticité (capteurs, dispositifs de métrologie, alignement).

On utilise dans ce domaine le même système de classification présenté à la section 3.3 et issu de la norme CEI 60825-1.

Toutes les saines pratiques déjà mentionnées à la section 4.2 demeurent valides. On distinguera également des mesures spécifiques en fonction des différentes zones dans l'environnement de travail, tel que précisé au tableau ci-dessous.

MESURES DE PROTECTION ADAPTÉES À L'ENVIRONNEMENT MANUFACTURIER

Zone	Mesures de protection
Zone sans accès restreint ni contrôlé Tout le monde, même le public peut avoir accès (bureaux, espaces de démonstration, etc.).	Aucune exposition ne doit dépasser la limite de la classe 1, pour tous les appareils à laser, dans tous leurs modes de fonctionnement. L'accès à des zones dangereuses doit être empêché par des moyens physiques.
Zone à accès restreint mais pas contrôlé Le public est exclu de la zone, mais des travailleurs qui n'ont pas nécessairement reçu de formation en sécurité laser ont accès	Les moyens physiques de protection sont employés en priorité pour empêcher l'accès à la zone de danger oculaire, mais l'appui de méthodes organisationnelles pourrait être nécessaire dans certains modes de fonctionnement ⁽¹⁾ .
Zone à accès contrôlé Seul le personnel formé à la sécurité laser a accès à cette zone	L'élimination du risque peut passer par des moyens physiques, organisationnels et le port d'équipement de protection individuelle. L'accès à la zone doit être empêché par des moyens physiques.

(1) Exemple tiré de la norme ISO 11553-1: Un appareil est utilisé dans une zone à accès restreint comme un atelier. L'opération normale de l'appareil à laser confine entièrement le faisceau de sorte qu'aucune exposition au-delà de la classe 1 (1M ou 1C) ne soit possible. Cependant, en mode service, le faisceau est accessible et la zone de danger laser est matérialisée par des panneaux verticaux sur lesquels est apposée la signalisation adéquate. Néanmoins, un faisceau réfléchi pourrait se propager à des échafaudages placés en hauteur. Des directives sont alors mises en place pour empêcher l'accès aux échafaudages lors des épisodes de service.

Si la sélection du mode de fonctionnement peut entraîner un fonctionnement dangereux de la machine (ex. : mode service), ce sélecteur doit être verrouillable et intégré dans la commande de sécurité de la machine pour empêcher son activation accidentelle.

Les appareils laser de classe 1 peuvent fonctionner sans surveillance. Les lasers de classe 1M à 3R peuvent fonctionner sans surveillance avec la signalisation appropriée. L'utilisation non supervisée de lasers de classe 3B et 4 devrait être tout à fait exceptionnelle, voire complètement évitée, et l'objet d'une surveillance étroite de la part d'un responsable de sécurité laser dûment formé qui planifiera des méthodes physiques de contrôle, la formation de tout le personnel susceptible d'entrer dans la zone et de maintenir la signalisation adéquate.

Dans un contexte manufacturier, des facteurs perturbateurs externes peuvent avoir un impact sur la propagation des faisceaux laser ou le fonctionnement du système complet. Ces facteurs perturbateurs peuvent venir désaligner le faisceau, voire mener à des dysfonctionnements pouvant conduire à des conditions d'exposition dangereuses (variations de température, chocs et vibrations, poussières, variations du réseau électrique, problèmes d'intégration logicielle, etc.)

Quelques risques connexes supplémentaires particuliers à une installation industrielle doivent être éliminés, comme par exemple le bruit généré par les opérations de découpe, marquage et soudure, ainsi que l'appareillage associé (convoyeurs, dispositifs d'aspiration). On doit également prévenir les risques d'éblouissement, d'aveuglement temporaire et de persistance rétinienne. Ces conditions en soi sont transitoires, mais dans un contexte industriel où des opérations dangereuses sont menées à proximité, on doit complètement éliminer ce risque. Le mouvement de recul et l'incapacité temporaire d'opérer à la suite d'un éblouissement pourraient, par exemple, avoir des impacts importants sur la conduite d'un chariot élévateur ou l'opération d'une autre machinerie lourde.

Le fournisseur de l'appareil laser est responsable de l'étiquetage de l'appareil selon la norme IEC 60825-1 et doit fournir l'information pertinente sur les moyens de protection à mettre en place pour son équipement particulier, incluant les équipements de protection individuelle (type et niveau de protection) et le niveau de formation du personnel.

5.2 Équipement de soudage ou de brasage laser

Ces appareils ont l'avantage d'offrir une meilleure résolution spatiale et surtout une zone thermiquement affectée beaucoup plus petite que le TIG (+ rapide, moins de distorsion), bien que la résolution soit moins fine qu'avec les appareils de soudure par faisceau d'électrons. L'énergie laser est absorbée par les matériaux et l'augmentation de la température entraîne la fusion des pièces. Tous les appareils de soudure laser peuvent être couplés à des buses de gaz pour contrôler l'environnement de soudure. On peut travailler des métaux (aciers incluant les aciers inoxydables, aluminium, alliages de nickel, cuivre, titane) et des polymères.

Ces appareils sont fréquemment utilisés dans l'industrie automobile et en aéronautique. Dans le cas de la soudure (et non le brasage), le fait qu'il n'y ait pas besoin de matériel d'apport le rend désirable pour les applications biomédicales. Très utilisé aussi en microélectronique, le brasage laser rend possibles des procédés très précis à de très basses températures.

Plusieurs types de lasers sont utilisés dans ces appareils : lasers à fibre, Nd:YAG, Nd:YVO4, CO2, lasers à semi-conducteurs, qu'ils soient en mode continu ou impulsif.

Les appareils sont parfois dotés d'un mécanisme qui empêche l'émission laser quand la buse de soudure n'est pas en contact avec la surface à souder. Les appareils automatisés sont équipés d'une enceinte de protection dans laquelle le soudage a lieu. Ils sont alors de classe 1.

Cependant, on constate depuis peu la grande popularité de stations de soudure manuelles et portables, de classe 4, qui posent de grands risques pour la sécurité. Ces appareils sont des appareils ouverts, ce qui nécessite le port des lunettes de protection **en tout temps** et le confinement de la zone dans une pièce à part ou par des rideaux résistants à la radiation. En plus du port des lunettes, l'extraction des particules et produits de soudure directement au site de soudure est primordiale, car ceux-ci sont toxiques, inflammables et parfois explosifs.

NOTE IMPORTANTE

Pour simplifier le texte de ce chapitre :

Les lasers de classe 1 incluent les classes 1, 1M et 1 C.

Les lasers de classes 2 incluent les classes 2 et 2M.

Les lasers de classes 3B, 3R et 4 sont distinctement nommés.



Par ailleurs, l'efficacité des dispositifs d'extraction doit être vérifiée par des mesures, car les particules peuvent être expulsées à grande distance du site. L'utilisation de tels appareils de soudure est d'autant plus risquée que les matériaux soudés sont très réfléchissants et de géométrie quelconque : des réflexions peuvent alors être renvoyées dans n'importe quelle direction et la densité de puissance résultante pourrait être suffisante pour enflammer les vêtements et les matériaux à proximité. De plus, il faut s'assurer que le matériau des lunettes peut soutenir la densité de puissance d'une telle exposition. La protection de la peau est nécessaire, mais il n'existe que peu d'options pour résister à la radiation laser. Seule une densité de puissance en périphérie du site de soudure pourrait être arrêtée par des gants (à la fois pour la protection thermique contre les pièces soudées et pour la protection à la radiation laser).

5.3 Nettoyage par laser

Les lasers peuvent être utilisés pour nettoyer des pièces. Comme le faisceau peut parfois être manipulé manuellement, les enjeux sont semblables à ceux du soudage laser.

5.4 Découpe au laser

Plusieurs avantages sont associés à la découpe laser, notamment la grande variété de matériaux qu'il est possible de couper : les métaux, les céramiques, les verres, les polymères, les semi-conducteurs. Les fentes de coupes sont lisses et ne nécessitent pas de repolissage. Aucun outil consommable n'est nécessaire, diminuant ainsi l'entretien et les coûts. Le risque de distorsion des pièces est faible puisqu'aucun stress mécanique n'est appliqué sur la pièce par un outil en mouvement. La possibilité de focaliser des faisceaux d'impulsions ultra brèves permet de faire du micro-usinage extrêmement précis.

La tête de découpe peut être couplée à un gaz neutre pour pousser le matériau fondu hors du trait, ou de l'oxygène pour oxyder le

matériau. Les matériaux dont la température de sublimation est plus faible s'évaporent directement.

La plupart des appareils de découpe sont confinés dans une enceinte de classe 1, rendant le travail sécuritaire sans autre mécanisme de protection. On rencontre toutefois des appareils n'ayant pas d'enceinte pour lequel le travail doit donc être fait dans une large zone d'exclusion du personnel où une chambre de découpe doit être installée.

L'extraction efficace des produits de la découpe (gaz et particules) est critique. Tout comme pour le soudage laser, ces gaz et particules peuvent être toxiques, inflammables et explosifs.



5.5 Marquage par laser

Le marquage par laser est utilisé de façon routinière dans une panoplie d'industries pour la traçabilité ou pour des raisons esthétiques : lots de cosmétiques ou de nourriture, emballage attrayant, traçabilité de pièces individuelles, etc. Certains appareils à laser peuvent être utilisés à la fois pour de la découpe et du marquage. Les enjeux et avantages sont les mêmes que pour la découpe laser, en plus du fait que le marquage par laser est particulièrement propice à offrir de grandes vitesses d'opération tout en offrant la flexibilité d'un marquage différent pour chaque pièce (pour marquer des numéros de série par exemple).



5.6 Procédés de fabrication additive

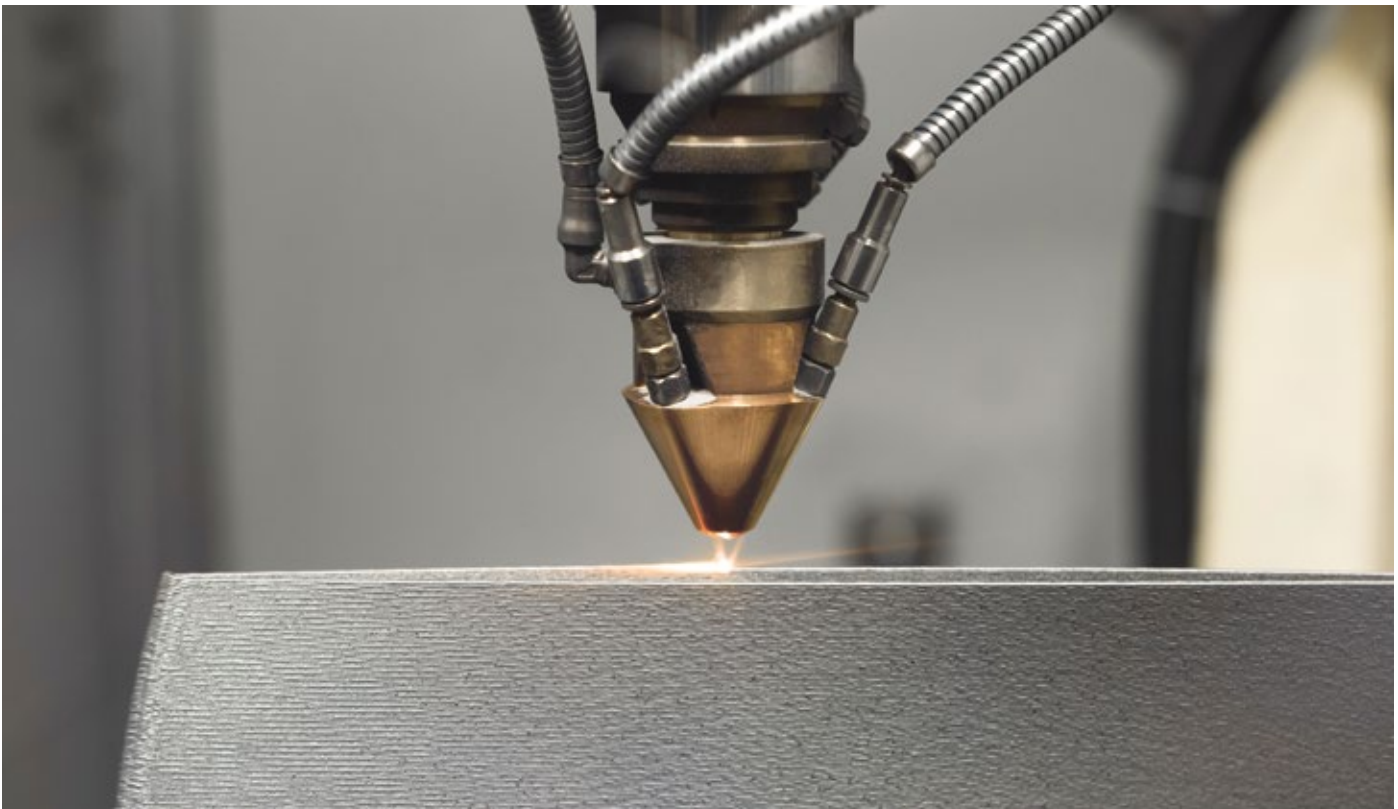
On peut utiliser des lasers pour réaliser de la fabrication additive de polymères, de céramiques ou de métaux. Dans le cas des polymères, la résine est polymérisée sur place par un laser UV où le polymère est fondu par un laser infrarouge. Dans le cas des métaux, une buse distribue de la poudre de métaux, qui peut être fondue ou simplement frittée. Des bains de poudre peuvent également être utilisés.

L'avantage de ce type de technique tient surtout aux géométries novatrices impossibles à réaliser avec des techniques d'usinage traditionnelles.

Les appareils d'impression 3D sont généralement munis d'une enceinte de classe 1 confinant la radiation. Le travail avec des poudres métalliques et l'émission de composés organiques volatils lors du travail avec les polymères exige encore une fois qu'une extraction efficace de ces produits soit réalisée pour éviter d'exposer les travailleurs.

Remarque générale concernant les enceintes de classe 1

Bien que de nombreux appareils soient munis d'une enceinte de classe 1 confinant la radiation, il faut garder en tête que les lasers à l'origine du principe utile de ces équipements est de classe 3B ou 4. Les opérations d'**entretien, réparation, maintenance et ajustements** mèneront alors au travail directement avec ces lasers de classe élevée et **toutes les méthodes de protections appropriées à ces classes** devront alors être mises en place.



5.7 Numériseurs laser, capteurs, scanneurs

On peut retrouver dans l'environnement industriel un grand nombre de dispositifs ne visant pas directement le travail des matériaux, mais venant appuyer ce travail ainsi qu'une foule d'autres procédés.

Parmi ces dispositifs, notons les numériseurs 3D, permettant de déterminer le meilleur endroit sur une pièce pour du marquage ou encore de positionner exactement des pièces ainsi que les scanneurs de code-barre utilisés pour la traçabilité et les capteurs de présence (rideaux laser).

Bien que ces dispositifs soient généralement de classe 3R et moins, il convient de sensibiliser les travailleurs sur les risques engendrés s'ils regardent directement le faisceau laser (non-respect du réflexe d'aversion, c'est-à-dire le réflexe de détourner le regard). De plus, ces dispositifs pourraient provoquer des interférences avec certaines tâches critiques, comme la conduite de chariots élévateurs et il convient donc de considérer ce facteur dans l'aménagement.

On peut également retrouver des dispositifs d'analyse qui peuvent comporter des faisceaux de classe 3B pouvant ne pas être complètement confinés (analyses LIBS, Raman ou autres méthodes spectrométriques).



À retenir

- L'entreprise doit pouvoir compter sur une personne responsable compétente en matière de sécurité laser qui s'occupera d'intégrer les pratiques sécuritaires et les moyens de protection requis pour les opérer de façon sûre.
- Les opérations d'entretien, de maintenance et d'ajustement sur des lasers représentent le plus grand risque pour les travailleurs.
- Une évaluation de risque doit être faite avant d'utiliser un équipement laser portable de classe 3B et plus, car le changement de milieu de travail peut contribuer à omettre d'importantes mesures de protection.

Réponses à quelques questions

Un laser classe 4 dont le faisceau est dirigé vers le bas est-il dangereux pour les yeux ?

L'orientation d'un faisceau laser vers le bas protège contre l'exposition au faisceau direct. Il faut se rappeler toutefois qu'un faisceau réfléchi sur une surface lisse présente le même danger que le faisceau direct lui-même et qu'un laser de classe 4 présente un danger pour l'œil, même en situation de réflexion diffuse. Par exemple, un laser CO₂ peut produire des réflexions diffuses dangereuses à l'intérieur d'une distance de plusieurs mètres à partir du point de coupage ou de soudage. Dans ce cas, le rayonnement laser est invisible (10 600 nm), il se situe dans l'infrarouge éloigné. Le travailleur exposé ressentira de la chaleur sur la peau. Ce rayonnement ne présente pas de danger pour la rétine, mais peut causer des brûlures au niveau de la cornée. C'est pourquoi il est obligatoire de porter des lunettes de protection. De simples lunettes de sécurité en polycarbonate peuvent suffire à protéger les yeux contre le rayonnement diffus, dans l'infrarouge éloigné. Toutefois, d'autres types de rayonnements peuvent être générés durant le procédé ou durant les opérations d'alignement ou d'entretien. Le choix du bon protecteur oculaire passe toujours par la consultation d'un spécialiste ou d'un fournisseur compétent.

Est-ce que les fibres optiques présentent un danger pour les yeux ?

Les fibres peuvent transporter des faisceaux laser classe 3B et même classe 4. De manière générale, les fibres optiques ne présentent aucun risque lorsque tous les connecteurs sont branchés. Une fibre optique débranchée et non munie d'un embout présente un risque de rayonnement pour les yeux. Par conséquent, le nouveau port de sortie du laser se situe alors au bout de la fibre. Des précautions doivent être prises dans les situations suivantes :

- branchement ou débranchement des connecteurs
- opérations d'entretien, de vérification ou de réparation
- sectionnement d'un câble de fibres.

L'observation des fibres devrait se faire lorsque le système est à l'arrêt, c'est-à-dire en absence de rayonnement laser.

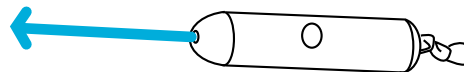
Est-ce que les niveaux d'alignement présentent un danger pour les yeux ?

Les niveaux d'alignement émettent évidemment un rayonnement visible. Ils sont généralement de classe 2, 2M ou 3R. Ils présentent un risque de blessure si l'on regarde intentionnellement dans le faisceau. Regarder la ligne qui sert à l'alignement ne présente aucun danger. Le danger existe si le faisceau entre dans l'œil durant quelques secondes. Étant donné qu'il s'agit d'un rayonnement visible, ce sera la rétine qui subira des dommages. Il est recommandé de privilégier l'utilisation de lasers d'alignement classe 1 ou 2.

Est-ce que les pointeurs laser sont dangereux pour les yeux ?

Les pointeurs laser ne doivent pas être considérés comme des jouets et ne doivent jamais être pointés vers une personne. La puissance des pointeurs varie selon les modèles. Il est recommandé d'utiliser des pointeurs laser classe 1 ou encore classe 2 dont la puissance est limitée à 1 mW. On trouve couramment sur le marché des pointeurs classe 3R. Ceux-ci devraient être utilisés uniquement lorsqu'un pointeur laser classe 1 ou 2 ne convient pas. Le faisceau d'un pointeur classe 2 ou 3R est assez puissant pour causer un éblouissement voire même des lésions permanentes à la rétine dans le cas où l'on regarderait intentionnellement dans le faisceau pendant plusieurs secondes. Il est aussi possible de trouver sur le marché des pointeurs laser puissants (classe 3B). Ils ne doivent pas être utilisés parce qu'ils sont dangereux en cas de vision directe du faisceau, même pour une fraction de seconde. Regarder le point lumineux d'un pointeur classe 1, 2 ou 3R sur une surface mate ne représente aucun danger. Il est interdit en vertu du Code criminel de pointer un laser vers un aéronef ou dans un espace aérien. Ce comportement est passible d'une importante amende et même d'emprisonnement.

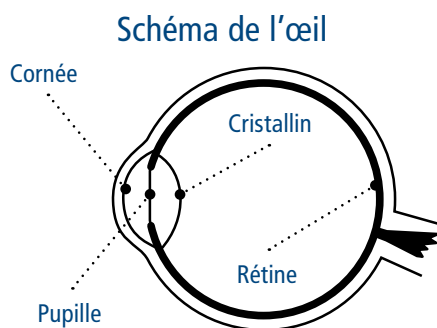
Pointeur laser



Est-ce qu'un laser de 1 milliwatt peut réellement représenter un danger pour les yeux ?

Oui, si l'on maintient volontairement l'œil dans le faisceau. Le cristallin agit comme une lentille qui concentre l'énergie du faisceau en un point sur la rétine.

Si l'on regarde dans le faisceau d'un laser de 1 milliwatt, la rétine de l'œil est exposée à une intensité dix fois plus grande que si l'on regardait directement le soleil de midi. C'est pourquoi notre réflexe naturel en cas d'exposition à un rayonnement visible intense est de fermer la paupière (réflexe palpébral) et de détourner la tête.



Doit-on faire passer un examen des yeux au personnel qui travaille avec les appareils à lasers ?

Il est recommandé de faire passer un examen des yeux au personnel qui sera affecté à des appareils lasers qui renferment des lasers classe 3B et 4. L'examen des yeux pour les personnes qui travaillent de manière routinière avec des lasers devrait inclure :

- un historique de la santé des yeux
- un test d'acuité visuelle
- un test pour vérifier les fonctions de la rétine (grille d'amsler)
- un test pour vérifier la vision des couleurs.

Des examens périodiques aux deux ans sont recommandés pour les utilisateurs de laser classe 4. **Il est impératif qu'un examen soit réalisé à la suite d'une exposition à un rayonnement susceptible d'avoir créé une blessure aux yeux.**

Cet examen doit inclure une évaluation du champ et de l'acuité visuels, une évaluation des couleurs et un examen du fond de l'œil.

Est-ce qu'un laser à impulsion est plus dangereux qu'un laser à émission continue ?

L'un comme l'autre peut créer des blessures graves et irréversibles. Toutefois, les lasers à impulsion ont la propriété de développer une puissance très élevée. Même si cette puissance crête est de très courte durée, elle peut créer des dommages importants aux yeux. Voici un exemple de blessures causées par un laser à impulsion :

Laser YAG: Nd, 6 millijoules, impulsion de 10 nanosecondes, invisible à 1064 nm, classe 3B

L'impulsion a une puissance de crête de 600 kW (6 millijoules / 10 nanosecondes = 600 kW). Lorsque le faisceau a frappé son œil, le chercheur a entendu un « pop », causé par une forme de microexplosion dans le fond de l'œil. La vision s'est immédiatement obscurcie. Après quelques mois, les effets permanents sont la vision de particules « flottantes », une douleur suite à une période de lecture prolongée et une perte de la vision localisée.

Que ce soit un laser impulsionnel ou un laser à émission continue, les risques associés à l'utilisation de lasers ne doivent pas être pris à la légère. Il est toujours recommandé de considérer la classe du laser et de mettre en place toutes les mesures de sécurité qui s'y appliquent, de manière à minimiser le risque d'exposition à un rayonnement dangereux.

Que doit-on faire en cas d'une blessure à l'œil ?

Il est important d'adopter une procédure de premiers secours et de premiers soins qui doit être suivie en cas d'accident relié à l'utilisation d'un appareil à laser. Plus spécifiquement, en cas d'une blessure à l'œil, il est recommandé de :

- Faire asseoir la personne (ne pas la coucher pour ne pas créer un afflux de sang au niveau des yeux) ;
- Couvrir immédiatement les deux yeux de compresses de gaze stériles ;
- Mettre plusieurs compresses de façon à empêcher la lumière de passer et les fixer à l'aide d'une bande de gaze ;
- Prendre la fiche technique de l'appareil à laser ;
- Conduire rapidement la personne chez le médecin.

RÉPONSES À QUELQUES QUESTIONS

Quelle norme s'applique au Québec concernant la sécurité laser ?

La loi québécoise sur la santé et la sécurité du travail ne contient pas de disposition particulière pour le travail avec les lasers. De façon générale, la loi sur la santé et la sécurité du travail exige de l'employeur qu'il identifie ses risques et mette en place les moyens pour prévenir les lésions professionnelles. De plus, il existe des normes de référence qui font consensus. La rédaction de ce guide s'est appuyée sur les normes suivantes : ANSI Z136.1 et CAN/CSA E60825-1 (celle-ci étant l'adoption canadienne de la norme internationale IEC 60825-1). La norme ANSI est orientée vers l'utilisateur et propose des lignes directrices pour le travail en toute sécurité avec les lasers, alors que la norme CAN/CSA régit les caractéristiques de sécurité minimales d'un laser en fonction du danger qu'il représente. Les deux normes sont semblables dans leurs grandes lignes.

Est-ce obligatoire d'avoir un officier ou responsable de sécurité laser quand on utilise des lasers en entreprise ?

Bien que cela ne constitue pas une obligation légale, les normes établissant les meilleures pratiques en sécurité laser recommandent qu'un responsable de sécurité laser soit nommé dans les établissements qui opèrent des lasers de classe 3B et 4. C'est le responsable de sécurité laser qui identifie et contrôle les risques reliés à l'utilisation des lasers, ce dont l'employeur a l'obligation de s'acquitter.

En résumé, si votre entreprise utilise des lasers de catégorie 1 ou des lasers de classe supérieure totalement confinés dont les travaux de maintenance sont assurés par le fabricant, il ne serait pas requis d'avoir sur place un responsable de sécurité laser. Autrement, il faudrait désigner et former une personne responsable.

Où peut-on suivre une formation en sécurité laser ?

MultiPrévention offre en collaboration avec le Cégep André Laurendeau et Optech une formation d'introduction à la sécurité des lasers industriels.

De plus, le service de formation continue du Cégep d'André Laurendeau offre la formation de responsable en sécurité laser et administre l'examen pour être certifié à titre d'officier en sécurité laser.

Pour en savoir plus

On peut consulter :

- Optech - Centre de recherche appliquée en optique- photonique : <https://cctt-optech.ca>
- Cégep André-Laurendeau, formation continue en sécurité laser : <https://formation.claurendeau.qc.ca>
- Santé Canada, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs.
- Bureau de la protection contre les rayonnements des produits cliniques et de consommation : (613) 954-0303 ou 954-0311
- Laser Institute of America (Floride) : www.laserinstitute.org
- Service de sécurité et de prévention de l'Université Laval (Québec) : www.ssp.ulaval.ca
- Consultants spécialisés en sécurité laser
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection : www.icnirp.org



Bibliographie

- LES NORMES: CAN/CSA E60825-1, ISO 11553-1, ANSI Z136.9.
- AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE, *American National Standard for Safe Use of Lasers*, ANSI Z136.1-2014.
- BARAT, KEN, *Laser safety management*, CRC Press, 2006.
- HENDERSON & SCHULMEISTER, *Laser safety*, IoP publishing, 2003.
- NORME INTERNATIONALE, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur*, CEI 60825-1, édition 2014.
- LE RÉSEAU FRANCOPHONE DU SOUDAGE, *Le soudage hybride arclaser: un nouveau procédé prometteur*, Le journal de l'ISQ, vol.6 N.4, 2003.
- LASER INSTITUTE OF AMERICA, *Laser safety training course notes*, Montréal, oct. 2002, 252 p.
- NORTEL NETWORKS, *Sécurité optique – La sécurité... Mon œil!*, Centre de formation des employés, 2002, 45 p.
- NORTEL NETWORKS, *Laser & Fibre Safety for Optical Networks OP1350 – Participant Manual*, octobre 2001, 108 p.
- INRS, *Le point des connaissances sur... Les lasers*, Travail et sécurité, n° 602, décembre 2000, 4p.
- INRS, *L'utilisation en sécurité du laser*, Travail et sécurité, n° 601, novembre 2000, p.28-39.
- LASER INSTITUTE OF AMERICA, *Laser safety guide*, 10^e éd., Wesley Marshall & David Sliney, 2000, 48 p.
- ROCKWELL LASER INDUSTRIES, *Laser safety*, course overheads, Cincinnati, 2000, 120 p.
- ROCKWELL LASER INDUSTRIES, *User's guide for laser safety*, version 2.7, Cincinnati, décembre 1999, 41 p.
- AMERICAN WELDING SOCIETY, *Recommended practices for laser beam welding, cutting, and drilling*, ANSI/AWS C7.2 :1998, Miami, novembre 1998, 108 p.
- SMEETS, M.J.M.C., Van Hastenberg C.H., *Identification of chemical exposure resulting from laser cutting of plastic material*, Inde, Overseas Publishers Association, 1998, p.223-229.
- INRS ND 2093-173-98, *Les lasers, Risques et prévention*, Paris, Cahiers de notes documentaires – Hygiène et sécurité du travail – n° 173, 4^e trimestre, 1998, p.445-463.
- FELSHPAN Jeffrey, *Look at laser safety in a new light*, Safety & Health, février 1996, p.58-61.
- TAYLOR, H.J. and Troughton M.J., *Products evolved during laser cutting of plastics*, Health and Safety Executive contract research report n° 87/1995, 1995.
- CAISSE NATIONALE SUISSE D'ASSURANCE EN CAS D'ACCIDENTS, *Feuille d'information sur les lasers*, 1^{ère} éd., avril, 1992, 7 p.
- INRS, *Robots de soudage et de découpe, Évaluation et prévention des risques engendrés par les nouvelles technologies d'usinage (laser, jet d'eau hyperbare et plasma)*, Cahiers de notes documentaires n° 159, 1^{er} trimestre, 1995, p.15-33.
- LASER INSTITUTE OF AMERICA, *Hazardous chemicals produced by laser materials processing*, Journal of laser applications (1994) 6, p.195-201.
- ROCKWELL LASER INDUSTRIES, *Basics of lasers & optics*, Cincinnati, 1994.
- OSHA instruction CPL2-2.20BCH-2, *Laser Hazards*, chapitre 17, avril 1993, p.17-7 à 17-29.
- BRITISH OCCUPATIONAL HYGIENE SOCIETY, *Pollutants from laser cutting and hot gas welding of plastics*, Annals of occupational Hygiene, Vol. 37, n° 6, 1993, p.665-672.
- HYGIÈNE et SÉCURITÉ, *Taux d'émission de fumées et de gaz en coupage au laser*, Soudage et techniques connexes, Vol. 46, n° 5-6, 1992, p.51-55.
- INRS ND 1801-141-90, *Représentation des risques du laser*, Paris, Cahiers de notes documentaires, n° 141, 4^e trimestre, 1990, p.787-798.
- ROCKWELL R. James et Moss C. Eugene, *Optical radiation hazards of laser welding processes part II : CO2 laser*, American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 50, n° 8, 1989, p.419-427.
- BALL, Roger D., Kulik Bogdan and Tan Steet L., *The assessment and control of hazardous by-products from materials processing with CO2 lasers*, Annual review of laser processing – industrial laser handbook, 1987, p.15-25.
- HYGIÈNE DU TRAVAIL, *Rayonnements non ionisants – le laser*, section 8.5, Montréal, Le Griffon d'argile inc., 1985, p.328-346.
- SLINNEY David et Wolbarsht Myron, *Safety with lasers and other optical sources*, A Comprehensive Handbook, New York, Plenum Press, 1980, 1035 p.

