



FICHES TECHNIQUES

EVALUER L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS
AUX RAYONNEMENTS LASER

FICHE RÉDIGÉE PAR JOSÉ GARCIA ET DANIEL COURANT

— JANVIER 2022 —

EVALUER L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS LASER

FICHE RÉDIGÉE PAR JOSÉ GARCIA ET DANIEL COURANT

1 - LA SPÉCIFICITÉ DE L'ÉMISSION LASER

Un laser (acronyme issu de l'anglais Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) est un appareil qui produit un rayonnement lumineux spatialement et temporellement cohérent reposant sur le processus d'émission stimulée. Lors de la désexcitation de l'atome préalablement excité, ce processus permet d'obtenir deux photons en phase, c'est-à-dire émis en même temps suivant la même direction et avec la même longueur d'onde. L'amplification de cette émission stimulée par un nombre d'atomes suffisant donne l'émission laser (Figure 1).

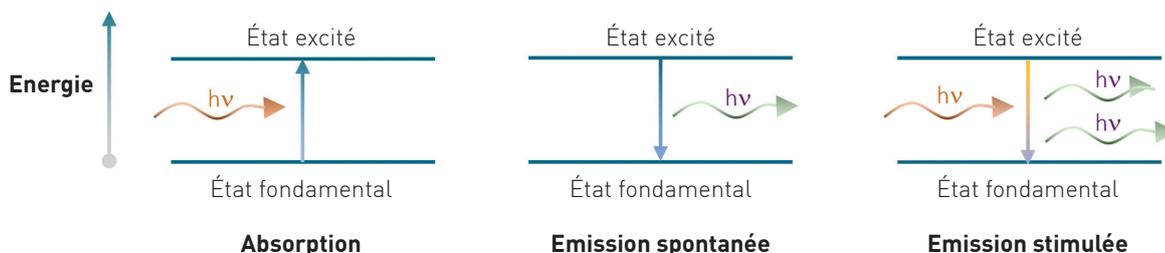


Fig. 1 : Processus d'émission stimulée

Le laser délivre un rayonnement, à une ou plusieurs longueurs d'onde définies, qui peuvent être émises dans l'ultraviolet, le visible ou l'infrarouge.

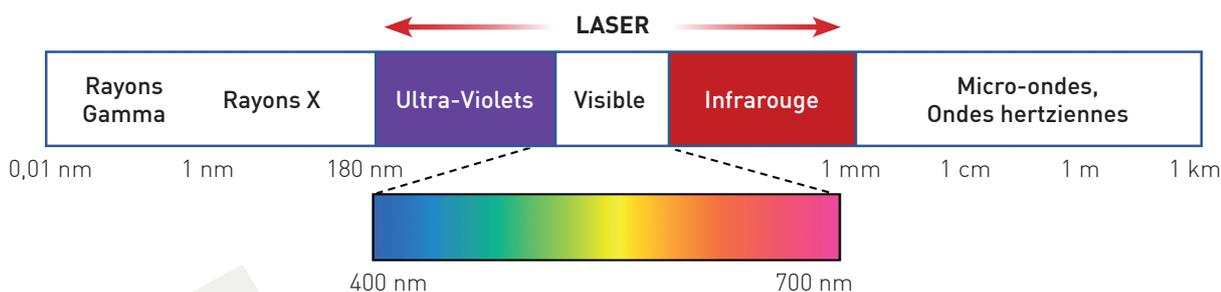


Fig. 2 : Bandes spectrales des rayonnements optiques

Une source laser associe une cavité optique à un amplificateur composé d'un milieu actif qui donne son nom au laser, par exemple le laser à CO₂. La cavité, souvent appelée résonateur, est généralement constituée de deux miroirs, dont l'un au moins est partiellement réfléchissant et l'autre à réflexion totale (R_{max}). Pour exciter les atomes du milieu amplificateur, on utilise des apports d'énergie optique (lampe flash ou autre laser), électrique (haute tension, polarisation d'une jonction...) que l'on qualifie de façon imagée de « pompage » (Figure 3). Sauf pour les cavités très courtes, le rayonnement laser est extrêmement directionnel, il est dit collimaté ; il permet de transporter une grande énergie dans un petit volume et dans une direction privilégiée.

Société Française de Radioprotection

EVALUER L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS LASER

FICHE RÉDIGÉE PAR JOSÉ GARCIA ET DANIEL COURANT

Au foyer d'un système optique, le faisceau collimaté est focalisé sur une tache de dimension très réduite qui peut être de l'ordre de quelques micromètres et ainsi concentrer spatialement l'énergie laser.



Fig. 3 : Schéma général d'un laser

D'un point de vue temporel, les lasers sont capables d'émettre en continu mais également avec des impulsions de très courtes durées, nanosecondes, picosecondes voire femtosecondes (10^{-15} s). Cette concentration temporelle peut contribuer à créer des effets particuliers de type mécanique et à les rendre encore plus dangereux.

Les lasers les plus couramment utilisés dans le domaine industriel pour la découpe, le soudage, le traitement thermique et le marquage sont :

- ⌘ les lasers à gaz CO_2 émettant dans l'infrarouge lointain (10 600 nm), délivrant plusieurs kilowatts ;
- ⌘ les lasers solides Nd : YAG¹ à 1064 nm ou à fibre dopées Ytterbium (1030-1070 nm) ou Erbium (1540 nm) multikilowatts.

Enfin pour les applications de microlithographie électronique (10 % du chiffre d'affaires annuel des lasers), ce sont les lasers Excimers (Excited Dimers) employant des gaz halogènes Fluor, Chlore, Brome qui sont essentiellement mis en œuvre.

2 - LES EFFETS SUR LA SANTÉ - ÉTAT DES CONNAISSANCES

Les dangers présentés par le faisceau laser sont liés aux atteintes oculaires et cutanées susceptibles de se produire dans l'ensemble du spectre optique de 180 nm dans l'ultraviolet lointain (UV-C) à 1 mm dans l'infrarouge lointain (IR-C) (Figure 2). Le risque de lésion au niveau cutané et oculaire dépend de l'éclairement délivré par le faisceau, de la longueur d'onde et de la durée d'exposition. Des sources incohérentes (conventionnelles) et cohérentes (lasers) délivrant la même exposition énergétique avec la même longueur d'onde et la même durée induisent des effets comparables sur la même surface d'un tissu biologique donné.

¹ Nd :YAG : Pour ce laser, l'ion Néodyme est responsable de l'émission et dope le cristal d'Yttrium Aluminium Grenat

EVALUER L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS LASER

FICHE RÉDIGÉE PAR JOSÉ GARCIA ET DANIEL COURANT

Le risque cutané est considéré comme moins important car la surface lésée est en général petite par rapport à l'ensemble du revêtement tégumentaire. Les atteintes de la peau produites par de courtes expositions aux rayonnements infrarouges (IR-C) et ultraviolets (UV-C) lointains n'intéressent que la couche cornée de l'épiderme tandis que les rayonnements visibles (Vis) et proches infrarouges (IR-A) sont susceptibles d'atteindre le derme et les tissus musculaires. Il existe de nombreux lasers émettant dans le visible et l'infrarouge capables de produire, en moins d'une seconde, une brûlure de la peau variant de l'érythème à la carbonisation ou à la volatilisation des couches superficielles (Figure 4). Des lésions aux organes sous-jacents peuvent être induites par des éclaircissements énergétiques extrêmement puissants. Les faisceaux émis dans l'ultraviolet peuvent induire un érythème comparable à un « coup de soleil », une sénescence précoce de la peau et favoriser l'apparition de cancers cutanés.

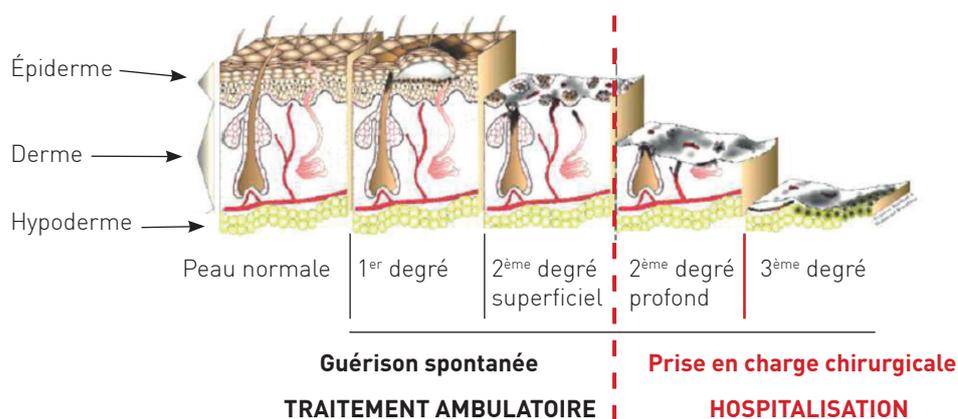


Fig. 4 : Structure de la peau et principaux effets des rayonnements laser
 Crédit photo : Nathanaëlle SONNECK-MUSEUX

L'œil est beaucoup plus sensible que la peau en raison du système d'auto-focalisation, que constituent la cornée et le cristallin pour le rayonnement visible et le proche infrarouge (400 à 1400 nm), qui augmente considérablement (de l'ordre de 10^5 fois) la densité d'énergie délivrée au niveau de la rétine, la gravité du dommage pouvant conduire à la perte de la vision (Figure 5).

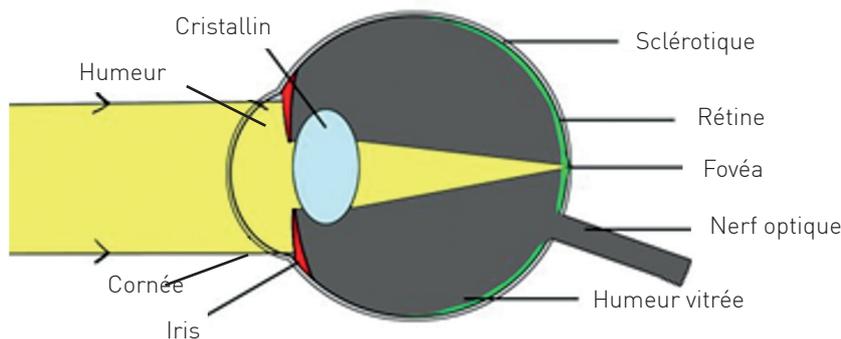


Fig. 5 : Coupe schématique de l'œil humain avec focalisation par le système optique dans la bande visible et du proche infrarouge IRA (400 à 1400 nm)

Société Française de Radioprotection

EVALUER L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS LASER

FICHE RÉDIGÉE PAR JOSÉ GARCIA ET DANIEL COURANT

Les ultra-violet « lointains » (UV-C et UV-B) et les infra-rouges « lointains » (IR-B et IR-C) pénètrent peu dans l'œil, et sont absorbés principalement par la conjonctive et la cornée. Toutefois des cataractes ont été attribuées aux rayonnements IR-B. Une exposition accidentelle peut induire une photokératite ou une ablation des couches superficielles de la cornée lorsque les durées d'impulsion sont courtes. Lorsque la longueur d'onde se rapproche du visible (UV-A et IR-A), les rayonnements peuvent être absorbés dans le cristallin et induire une cataracte.

En marge des risques liés aux faisceaux, les lasers peuvent également générer d'autres risques comme des risques électriques, de rayonnements connexes (X, optique, RF) et chimiques, qui ne sont pas traités dans cette fiche.

	UV-C	UV-B	UV-A	Visible	IR-A	IR-B	IR-C
Bandes	100	280	315	400	700	1400	1500 3000 106
Œil	Photokératite (Cornée, conjonctive)					Brûlure épithélium (Cornée)	
		Cataracte (Cristallin)			Cataracte (Cristallin)		
				Lésion et/ou brûlure de la rétine			
Peau	Erythème d'origine photochimique			Erythème d'origine thermique			

Fig. 6 : Structures à risque et critères de dommages servant à définir les limites d'exposition au rayonnement laser

3 - LES TEXTES DE RÉFÉRENCE

Le décret 2010-750 ^[3] issu de la directive 2006/25/CE ^[4], fixe les valeurs limites d'exposition s'appliquant aux travailleurs. Les obligations de l'employeur y sont également détaillées :

- ⌘ La nécessité d'évaluation des risques
- ⌘ La désignation d'une personne compétente en sécurité laser, notion développée notamment dans ^[5]
 - ⌘ La formation du personnel
 - ⌘ La fiche nominative d'exposition pour le personnel susceptible d'être exposé.

Ce décret est complété par les arrêtés ^[6,7] concernant l'évaluation des risques en milieu de travail.

Les valeurs limites d'exposition (VLE) représentent le niveau maximal de rayonnement auquel les personnes peuvent être exposées sans subir de dommage immédiat ou à long terme. Comme les effets, elles sont définies en fonction de la longueur d'onde, de la durée d'exposition et de la fréquence de répétition des impulsions dans le cas des lasers pulsés. Le risque cutané est généralement considéré comme identique à celui de la cornée, ce qui implique des VLE pour la peau semblables à celles de l'œil pour les UV-C et B et les IR-B et C. Dans le visible et l'IR-A, le risque cutané, évidemment inférieur au risque oculaire, est considéré comme identique d'une extrémité à l'autre du spectre alors que le risque oculaire varie considérablement en fonction de la longueur d'onde.

Société Française de Radioprotection



EVALUER L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS LASER

FICHE RÉDIGÉE PAR JOSÉ GARCIA ET DANIEL COURANT

Le calcul de la VLE pouvant s'avérer rapidement complexe, et même si des outils existent² pour leur calcul, une approche qualitative basée sur une classification des lasers a été élaborée. Elle donne une idée de leur dangerosité. Depuis octobre 2014, les classes applicables, définies par la norme EN 60825-1^[8], sont (Tableau 1) :

- Ⓛ Classe 1 : lasers ou appareils à laser considérés comme sans danger dans toutes les conditions d'utilisation prévisibles.
- Ⓛ Classe 1M : lasers qui sont sans danger à l'œil nu mais qui peuvent présenter un risque lorsque le laser est observé au travers d'un instrument d'optique grossissant de type jumelle.
- Ⓛ Classe 2 : lasers émettant un rayonnement visible qui est sans danger pour des expositions momentanées (<0,25 s), l'œil étant protégé par le réflexe d'aversion comprenant le réflexe palpébral.
- Ⓛ Classe 2M : lasers du spectre visible qui sont sans danger à l'œil nu pour des expositions momentanées (<0,25 s) mais qui peuvent présenter un risque lorsqu'un dispositif optique tel qu'une jumelle, est utilisé.
- Ⓛ Classe 3R : lasers qui peuvent dépasser les VLE mais qui présentent un risque limité et pour lesquels les exigences d'installation et de fabrication sont moins sévères que pour la classe 3B,
- Ⓛ Classe 3B : lasers dont la vision directe du faisceau, voire ses réflexions spéculaires, sont dangereuses (Figure 7).
- Ⓛ Classe 4 : lasers capables de produire des réflexions diffuses dangereuses et présentant un risque pour la peau ainsi qu'un risque d'incendie.

Classes	1	1M	2	2M	3R(3A)	3B	4
Œil vision faisceau à l'aide d'optique		X	*	X	XX	XX	XX
Œil vision directe du faisceau et réflexions spéculaires			*	*	*, X	XX	XX
Œil vision des réflexions diffuses						α	XX
Peau						X (UV)	XX
Incendie							X

Tableau 1 : Dangers associés aux classes de lasers

- * Danger si $t > 0,25$ s (t : temps d'exposition)
- X Danger potentiel
- XX Danger certain
- α Danger si $t > 10$ s et si $d < 0,2$ m (d : distance d'exposition).

La classe 1C, rajoutée en 2014, ne concerne que des lasers de dermatologie destinés à être en contact avec la peau. Elle n'intéresse pas les destinataires de cette fiche.

² Logiciels comme LASERSAFETY d'ALPhaNOV.

Société Française de Radioprotection

EVALUER L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS LASER

FICHE RÉDIGÉE PAR JOSÉ GARCIA ET DANIEL COURANT

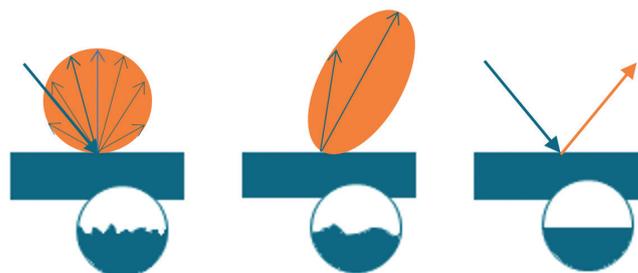


Fig. 7 : De gauche à droite, réflexion diffuse, réflexion intermédiaire avec une grande part de réflexion spéculaire et réflexion spéculaire pure. L'état de surface vis-à-vis de la longueur d'onde λ est schématisé dessous

En France, le décret 2007-665 ^[9], complété par le décret 2012-1303 ^[10] impose l'application de cette norme pour le fabricant dans laquelle sont précisées les prescriptions de fabrication, dont l'étiquetage et les mentions à apposer sur les appareils pour chaque classe (Figure 8).



Fig. 8 : Etiquette d'avertissement et de classe de lasers

En fonction de sa classe, chaque appareil laser doit comprendre des mécanismes techniques intégrés, parmi lesquels un capot de protection visant à prévenir l'exposition accidentelle, un obturateur ou interrupteur de faisceau permettant de l'arrêter facilement sans recourir à la coupure de l'alimentation, une commande à clé et un avertisseur d'émission. La liste de ces prescriptions figure en annexe de la norme EN 60825-1.

4 - L'ANALYSE DU RISQUE

Elle comprend trois parties distinctes [11]: la définition des limites, des phases et des zones d'utilisation, l'identification des phénomènes dangereux et l'estimation du risque (Figure 9).



Fig. 9 : Méthodologie de l'évaluation du risque basée sur la norme EN ISO 12100:2010

Société Française de Radioprotection

EVALUER L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS LASER

FICHE RÉDIGÉE PAR JOSÉ GARCIA ET DANIEL COURANT

La première étape consiste en une analyse de l'équipement et/ou de l'installation et des tâches à réaliser, la deuxième se rapporte à l'identification des phénomènes dangereux (dans cette fiche seul le risque laser est abordé). La troisième a pour objet d'estimer la probabilité d'apparition du risque ou Occurrence et son niveau ou Gravité, enfin la dernière étant la combinaison des trois précédentes.

La nature probabiliste du risque laser peut conduire à employer des méthodes simples et qualitatives d'analyse de risque par description des situations à risque ou plus élaborées et quantitatives de type AMDEC³. Elles sont particulièrement bien adaptées pour les produits mais plus difficiles à mettre en oeuvre pour des installations dans lesquelles l'homme et les logiciels interviennent dans l'Occurrence du risque. La criticité C est ensuite déduite de la multiplication de ces deux termes : Occurrence et Gravité.

Supposons que pour une phase de réglage, la gravité correspondant à la perte d'un œil soit importante mais que l'occurrence de cet aveuglement soit négligeable, la criticité sera faible car c'est une situation qui ne pourra quasiment jamais être rencontrée.

5 - NIVEAU DE RISQUE OU GRAVITÉ

Mesurage

Le risque lié à l'exposition à un faisceau laser dans l'immense majorité des applications est de nature probabiliste : la probabilité d'exposition est faible mais le niveau de danger est important. Dans certains rares cas d'utilisation, comme lors d'exposition à des réflexions diffuses ou de fuites dans les installations, le travailleur peut être exposé et le mesurage peut être une méthode appropriée pour l'évaluation du risque laser. Mais pour la plupart des applications, le travailleur n'est pas exposé au poste de travail et le mesurage n'est pas adapté. On recourt majoritairement à une approche théorique ou documentaire.

Evaluation théorique et documentaire

L'Occurrence va dépendre de la phase (utilisation normale, réglages, maintenance ...), de la zone d'exploitation (source, chemin optique, zone de process...) et, pour les installations, également de la façon dont la probabilité des erreurs humaines va être minimisée. La Gravité, quant à elle, peut être quantifiée à partir de la classe mais aussi de DNDO⁴(s) ou distance de sécurité et de la D_λ ou densité optique de sécurité. Cette dernière est définie comme le logarithme en base dix du rapport entre l'éclairement au point considéré \vec{r} à l'instant t, $E(\vec{r}, t)$ et la VLE. Elle fournit la valeur du filtre qu'il faut interposer devant le faisceau pour être en sécurité.

$$D_\lambda(\vec{r}, t) = \log_{10} \frac{E(\vec{r}, t)}{VLE}$$

³ AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance et de leur Criticité. Elles font intervenir la Gravité, L'Occurrence et la Non Détection.

⁴ DNDO : Distance Nominale de Danger Oculaire.

EVALUER L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS LASER

FICHE RÉDIGÉE PAR JOSÉ GARCIA ET DANIEL COURANT

La DNDO s'exprime, dans le cas d'un laser avec une émission spatiale à symétrie de révolution par :

$$DNDO = \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} \sqrt{\frac{P}{\pi VLE} - \omega_0^2}$$

Où P est la puissance du laser (ou Q l'énergie par impulsion si le laser est impulsionnel et que la VLE est exprimée en J/m²), ω_0 est le rayon au waist⁵ souvent pris à la sortie du laser ou au point de focalisation et θ le plein-angle de divergence du faisceau. Les faisceaux issus des lasers n'ayant pas des éclaircissements constants, on parle souvent d'éclaircissement à forme gaussienne, il est nécessaire de définir un niveau de coupe pour évaluer les dimensions de faisceau. L'angle de divergence et le rayon du faisceau doivent être pris à des niveaux de coupe de 63 % de la puissance totale ou à 1/e par rapport au maximum afin de remonter à l'éclaircissement maximal.

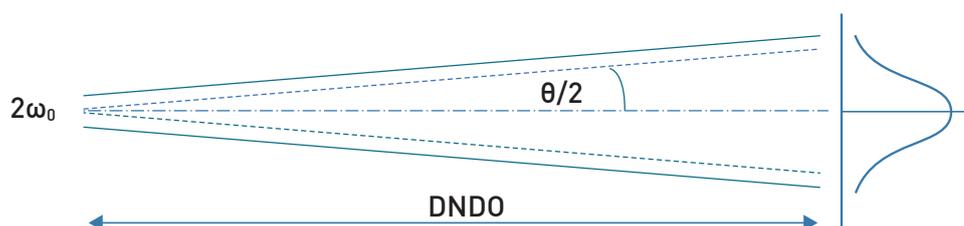


Fig. 10 : Notations pour le calcul de DNDO et forme de faisceau dans un plan transversal

Cette DNDO est exploitable surtout dans les applications extérieures mais aussi dans des utilisations en intérieur, dès lors qu'elle est inférieure aux dimensions du local pour certaines phases. Dans cette expression, l'angle de divergence est le paramètre le plus influent. Plus il est grand, comme en sortie de fibre optique ou pour un faisceau focalisé par de courtes focales, moins la DNDO est importante (Figure 10).

6 - LA RÉDUCTION DES RISQUES

Prévention

Dans le cas de situation à risque, avec une criticité C supérieure à une valeur prédéfinie, il convient alors de réduire le risque par le respect de règles applicables au matériel, à l'organisation de la sécurité dans l'entreprise et au travailleur.

De nouvelles applications des lasers apparaissent chaque jour et les règles afférentes au matériel associé peuvent être spécifiques. Une liste non exhaustive de ces normes concernant les « fabricants » figure en bibliographie. Dans le domaine des télécommunications, il s'agit des EN 60825-2 et l'IEC 60825-12.

⁵ Waist : plan où l'éclaircissement est le plus important, qui correspond au plus petit diamètre de faisceau.

EVALUER L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS LASER

FICHE RÉDIGÉE PAR JOSÉ GARCIA ET DANIEL COURANT

Pour les applications industrielles et notamment des machines, le fabricant doit appliquer en plus de la directive machine ^[12], l'ISO EN 11553-1. Pour les applications médicales, il doit appliquer l'IEC EN 60601-2-22 ^[13, 14, 15, 16].

Pour l'utilisateur et/ou le travailleur, en plus des exigences réglementaires, des règles d'utilisation sont détaillées dans le rapport technique IEC 60825-14 ^[17]. Elles concernent la définition de la zone contrôlée « laser », son accès, son aménagement et les consignes générales et spécifiques à respecter. Il y est mis l'accent sur la protection et l'information à l'accès, l'évitement de coactivités, le rangement, l'éclairage, le revêtement des murs, la direction et les hauteurs de faisceau... Dans tous les cas, il convient de privilégier la protection intégrée ou collective vis-à-vis de la protection individuelle. Elles s'appuient également sur un choix de l'équipement limitant les phases à risque et sur une intégration de la sécurité à la conception.

Mesures d'ingénierie et protection collective

Dans le but de réduire le niveau de risque, ces mesures comprennent l'atténuation, l'obturation et le blocage des faisceaux parasites, l'utilisation d'un faisceau à faible puissance ou auxiliaire pour certaines phases. Leur but est de limiter la durée d'exposition, de séparer les zones et les phases, d'éviter la présence de réflexion, de transmission voire d'émission non maîtrisée. Elles font également intervenir des protections collectives, nécessitant des outils pour le démontage et adaptées à la puissance du laser ^[18, 19], un contrôle à distance voire un pilotage depuis l'extérieur du local pour les phases à risque. Pour les lasers de très forte puissance, l'emploi d'automates de sécurité associés à des capteurs et des actionneurs de sécurité peut être adopté. L'ensemble des éléments de la chaîne de sécurité devra être d'un niveau de SIL ^[6, 20] ou PL ^[7, 21] approprié au type de laser. Ces niveaux sont en relation avec la probabilité de défaillance par heure du composant ou du sous-ensemble. Ces composants sont par exemple des contacts d'ouverture de capot ou de porte, des arrêts d'urgence, des contacteurs/départs moteurs, des barrières immatérielles...

Une approche similaire peut être appliquée pour les systèmes à fibre optique pour lesquels la fibre elle-même doit être surveillée aux extrémités mais aussi le long du trajet.

Protection individuelle

Pour certaines phases limitées, pour lesquelles la protection collective ou intégrée est insuffisante ou qui ne peut pas être mise en place de façon satisfaisante, la protection individuelle peut être utilisée en complément.

Les lunettes, pour bénéficier du marquage CE, doivent être conformes aux normes européennes harmonisées EN 207 ^[22] ou EN 208 ^[23]. Elles ont pour but non seulement de limiter l'éclairement après le protecteur à un niveau inférieur à la VLE mais aussi de garantir sa tenue au flux pendant au moins 5 s. La première concerne toute la bande spectrale des rayonnements optiques alors que la seconde ne s'applique qu'aux lunettes pour les lasers du spectre visible.

⁶ SIL : Safety Integrity Level (3 recommandé pour les lasers de classe 4).

⁷ PL : Performance Level (d ou e recommandé pour les lasers de classe 4).

EVALUER L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS LASER

FICHE RÉDIGÉE PAR JOSÉ GARCIA ET DANIEL COURANT

Elles sont nommées « lunettes de réglage ». Elles réduisent la puissance du faisceau à celle d'un laser de classe 2 pour lequel la protection est ensuite assurée par le réflexe d'aversion. Ces protecteurs sont testés dans des laboratoires accrédités, par exemple le LNE en France. Pour déterminer leur dimensionnement, il faut comparer l'éclairement susceptible de parvenir sur leur face avant aux valeurs des tableaux de l'EN 207 et l'EN 208. Différents facteurs correctifs fonction du diamètre et de la récurrence des impulsions sont à appliquer. Le choix peut s'avérer complexe malgré l'aide et le conseil des fournisseurs ou d'outils de calcul. Les critères associés à l'ergonomie ne doivent pas non plus être négligés. La transmission globale dans le spectre visible, la vision des couleurs, le poids, la protection latérale, l'embuage des masques, la possibilité de porter des verres correcteurs, sont des critères tout aussi fondamentaux que ceux attachés à la protection. Un marquage conforme aux normes EN 207 ou EN 208 précise leurs propriétés et leur utilisation.

Par exemple le marquage 630-700 DR LB8, trouvé sur des lunettes de protection laser, signifie que sur la gamme de longueurs d'onde de 630 à 700 nm, les lunettes ont une densité optique au moins de 8 et qu'elles supporteront au moins 10^9 W/m² pour un laser continu (type D) et $5 \cdot 10^5$ J/m² pour un laser déclenché (type R).

Comme tout EPI, un contrôle périodique est exigé par la réglementation. A défaut de disposer de texte précisant les modalités du contrôle, un examen visuel approfondi est conseillé tous les six mois. Depuis 2019, la durée de validité, qui est de 2 ans, est marquée sur la lunette (Figure 11).



Fig. 11 : Exemple de marquage selon la norme EN 207 sur des lunettes. On peut lire 190-315 DLB6+IRLB3

EVALUER L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS LASER

FICHE RÉDIGÉE PAR JOSÉ GARCIA ET DANIEL COURANT

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Sliney, D. H., Mellerio, J. Safety with Lasers and Other Optical Sources – A Comprehensive Handbook.* Wolbarsht, M. (Ed.).
- [2] *ICNIRP Guidelines – On Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1000 μm – Health Physics* 105(3):271-295; 2013.
- [3] *Décret n°2010-750 du 2 juillet 2010 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels.*
- [4] *Directive 2006/25/CE du 5 avril 2006 relative aux prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (rayonnements optiques artificiels).*
- [5] Site CNSO : <https://www.cnso.fr/>
- [6] *Arrêté du 1^{er} mars 2016 relatif aux modalités de l'évaluation des risques résultant de l'exposition aux rayonnements optiques artificiels en milieu de travail.*
- [7] *Arrêté du 1^{er} mars 2016 relatif aux conditions d'accréditation des organismes pouvant procéder au mesurage de l'exposition aux rayonnements optiques artificiels en milieu de travail.*
- [8] EN IEC 60825-1: Octobre 2014 : *Sécurité des appareils à laser - Partie 1 : Classification des matériels et exigences.*
- [9] *Décret no 2007-665 du 2 mai 2007 relatif à la sécurité des appareils à laser sortant.*
- [10] *Décret no 2012-1303 du 26 novembre 2012 fixant la liste des usages spécifiques autorisés pour les appareils à laser sortant d'une classe supérieure à 2.*
- [11] EN ISO 12100 : 2010 : *Sécurité des machines - Principes généraux de conception - Appréciation du risque et réduction du risque.*
- [12] *Directive 2006/42/CE du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE.*
- [13] EN IEC 60825-2 : Janvier 2011 : *Sécurité des appareils à laser - Partie 2 : sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques (STFO).*
- [14] EN IEC 60825-12 : Avril 2019 : *Sécurité des appareils à laser - Partie 12 : sécurité des systèmes de communications optiques en espace libre utilisés pour la transmission d'informations (FSOCS).*
- [15] EN ISO 11553-1 : Avril 2020 - *Sécurité des machines - Machines à laser - Partie 1 : exigences de sécurité laser.*
- [16] EN IEC 60601-2-22 : Janvier 2018 - *Appareils électromédicaux - Partie 2-22 : exigences particulières pour la sécurité de base et les performances essentielles des appareils chirurgicaux, esthétiques, thérapeutiques et de diagnostic à laser.*
- [17] IEC/TR 60825-14: Février 2004 - *Safety of laser products - Part 14 : a user's guide.*
- [18] EN 12254 : Mai 2010 - *Écrans pour poste de travail au laser - Exigences et essais de sécurité.*
- [19] EN IEC 60825-4 : Décembre 2006 - *Sécurité des appareils à laser - Partie 4 : protecteurs pour lasers.*
- [20] EN IEC 62061 : Juin 2015 - *Sécurité des machines - Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électrique, électronique et électronique programmables relatifs à la sécurité.*
- [21] EN ISO 13849-1 : 2015 - *Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité - Partie 1 : Principes généraux de conception.*
- [22] EN 207 : Mai 2017 - *Protection individuelle de l'œil - Filtres et protecteurs de l'œil contre les rayonnements laser (lunettes de protection laser).*
- [23] EN 208 : Février 2010 - *Protection individuelle de l'œil - Lunettes de protection pour les travaux de réglage sur les lasers et sur les systèmes laser (lunettes de réglage laser).*