



Risques liés aux lasers

Les cahiers de prévention

Santé • Sécurité • Environnement

cnrs

1^{re} édition • novembre 2019

Ce document a été réalisé par :

Yann AUGER

Ingénieur régional de prévention et sécurité, délégation CNRS Île-de-France Ouest et Nord, ex-chargé de mission CNRS pour la prévention des risques liés aux rayonnements optiques artificiels (2012-2016)

Céline BATAILLON

Ingénieure de prévention et de sécurité, coordination nationale de prévention et de sécurité du CNRS

Christophe GAUTHIER

Technicien de recherche CNRS, UMR7360/ LIEC, membre du comité central d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail du CNRS

Mahmoud IDIR

Ingénieur de recherche CNRS, UPR3021/ICARE

Luc MARTIN

Ingénieur de recherche CNRS, UMR7605/ LULI

Stéphanie SCARFONE

Ex-médecin de prévention animateur régional, délégation CNRS Alsace

Catherine SIX

Ingénieure régionale de prévention et de sécurité, délégation CNRS Île-de-France Villejuif, chargée de mission CNRS pour la prévention des risques liés aux rayonnements optiques artificiels

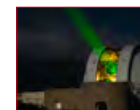
Jean-Louis TECQUERT

Ingénieur de prévention et de sécurité, délégation CNRS Alsace, ex-chargé de mission CNRS pour la prévention des risques liés aux rayonnements optiques artificiels (2017-2018)

Janine WYBIER

Coordinatrice nationale adjointe, coordination nationale de prévention et de sécurité du CNRS

Photographies de couverture



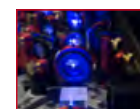
© Cyril Fresillon/
GEOAZUR/FIRST-TF/
CNRS Photothèque



© Emmanuel Perrin/
CNRS Photothèque



© Hubert Raguet/
FEMTO-ST/
FIRST-TF/CNRS Photothèque



© Hubert Raguet/
LKB/CNRS Photothèque



© Jean-Claude Moschetti/
IRCER/CNRS Photothèque



© Dreamstime

> Navigation dans le document

Vous trouverez au fil des pages des textes surlignés.

Ceux-ci vous permettront de naviguer au sein du document ou d'accéder à des pages internet, d'autres documents PDF...

Lorem ipsum > lien vers une autre rubrique ou une fiche

Lorem ipsum > lien vers une annexe

Lorem ipsum > lien vers un tableau

Lorem ipsum > lien vers un site internet

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION7

2. Réglementation relative à la prévention des risques liés aux lasers8

3. Définitions relatives à l'émission laser9

3.1. Longueurs d'onde λ 10

3.2. Types de laser 11

3.2.1. Lasers à gaz 11

3.2.2. Lasers à liquide 11

3.2.3. Lasers à solide 11

3.2.4. Lasers accordables 12

3.2.5. Lasers blancs 12

3.2.6. Lasers multi-raies 12

3.3. Géométrie du faisceau 14

3.4. Divergence du faisceau 14

3.5. Type d'émission laser 15

3.5.1. Émission continue 15

3.5.2. Émission impulsionnelle 15

4. Les grandeurs intéressantes en matière de sécurité16

4.1. Les classes 16

4.2. Les VLE/EMP 19

4.3. Les DNRO/ZNRO 21

5. Le marquage de l'appareil22

6. Les risques liés au faisceau23

6.1. Le risque oculaire 23

6.1.1. Structures de l'œil 23

6.1.2. Effets des rayonnements optiques sur l'œil 23

6.2. Le risque cutané 25

6.2.1. Structures de la peau 25

6.2.2. Effets des rayonnements optiques sur la peau 25

6.3. Les risques liés aux interactions faisceau/cible 26

6.3.1. Incendie 26

6.3.2. Rayonnements ionisants 26

7. La prévention des risques liés au faisceau27

7.1. Les moyens organisationnels 27

7.1.1. Référent sécurité laser (RSL) 27

7.1.2. Habilitation 28

7.1.3. Notice de poste 28

7.1.4. Notice de salle 28

7.1.5. Procédure de mise en marche 29

7.1.6. FIEROA 29

7.1.7. Prévention lors des opérations de maintenance 29

7.2. Les moyens techniques.....	30
7.2.1. Le local laser.....	30
7.2.2. Conception du dispositif expérimental.....	34
7.2.3. Équipements de protection individuelle : lunettes de sécurité laser.....	39
7.2.4. Équipements de protection individuelle : gants et vêtements de protection laser	40
7.3. Les moyens humains.....	40
7.3.1. La formation	40
7.3.2. Le suivi médical	41

8. Les risques associés et leur prévention.....43

8.1. Risque électrique	43
8.2. Risque lié à la présence de gaz	44
8.3. Risque chimique.....	45
8.3.1. Lasers à colorants	45
8.3.2. Vapeurs, aérosols, poussières	45
8.3.3. Nature chimique des optiques	45
8.4. Exposition au bruit.....	46

Annexes

Annexe 1 Réglementation et Normes	48
Annexe 2 Lettre de mission du RSL au CNRS	50
Annexe 3 Glossaire.....	52

Fiches

1	Schéma organisationnel de la prévention « laser »	54
2	Modèle d'inventaire de parc lasers.....	57
3	Modèle de grille d'évaluation « sécurité laser »	58
4	Présentation de l'application LISA.....	64
5	Calcul des $VLE_{\text{œil}}$ et du niveau de risque	65
6	Calcul des échelons des lunettes de protection	67
7	Exemples de calcul de DNRO	71
8	Modèle de liste des personnes habilitées laser	73
9	Modèle de fiche individuelle d'exposition aux rayonnements optiques artificiels (FIEROA)	74
10	Bonnes pratiques de laboratoire relatives à la prévention du risque laser	75
11	Modèle de notice de poste	76
12	Modèle de notice de salle	77
13	Conduites à tenir en cas d'exposition	78
14	Lasers utilisés en extérieur	79

PRÉAMBULE

La réglementation et les normes afférentes énoncent différentes définitions d'un laser dont certaines peuvent recouvrir les mêmes équipements :

- Le laser : tout dispositif que l'on peut réaliser pour produire ou amplifier un rayonnement électromagnétique compris dans la gamme de longueurs d'ondes de 100 nm à 1 mm, essentiellement par le phénomène d'émission stimulée contrôlée.
- Le laser sortant : tout dispositif qui peut produire ou amplifier un rayonnement laser dont le faisceau est accessible.
- Le système à laser : laser associé à une alimentation laser appropriée avec ou sans composants supplémentaires incorporés.
- L'appareil à laser : tout appareil ou toute combinaison de composants qui constitue, incorpore ou est destiné(e) à incorporer un laser ou un système à laser.
- La machine à laser : ensemble intégrant un laser ou un système à laser disposant d'un système d'entraînement autre que la force humaine ou animale appliquée directement, composé de pièces et d'organes liés entre eux dont au moins un est mobile et qui sont réunis de façon solidaire en vue d'une application définie.
- La quasi-machine à laser : ensemble qui constitue presque une machine à laser, mais qui ne peut assurer à lui seul une application définie.

Ces deux dernières définitions correspondent essentiellement à des équipements industriels et peuvent ponctuellement se trouver dans les ateliers de mécanique (découpe laser, impression 3D par fusion laser...).

De plus, il existe d'autres terminologies utilisées dans les laboratoires sans que celles-ci ne soient définies par la réglementation ou une norme, telles que :

- la source laser : association d'un milieu amplificateur, d'une cavité optique et d'une source d'énergie permettant l'émission d'un faisceau laser.
- l'installation laser : association d'une source laser à un dispositif le plus souvent optique dans l'objectif d'une application fonctionnelle.

En outre, le terme « Laser à rayons X » est employé pour définir un dispositif qui émet un faisceau de rayonnements UV extrêmes ou de rayons X (longueurs d'onde inférieures à 100 nm) selon un principe de fonctionnement analogue aux lasers. S'agissant de rayonnements ionisants, la prévention pour la mise en œuvre de ces équipements n'est pas développée dans ce cahier de prévention.

Par commodité, il a été choisi d'utiliser l'expression « parc lasers » pour désigner l'ensemble de ces équipements (qu'ils soient utilisés ou stockés) dans ce cahier de prévention.



© Emmanuel Perrin/INSU/LAOG/CNRS Photothèque

1. Introduction

L'usage des lasers s'est banalisé dans la vie quotidienne (pointeur laser, lecteur laser, niveau laser...).

Dans les laboratoires de recherche, la présence d'un parc lasers est de plus en plus répandue et concerne des domaines scientifiques nombreux et variés, dont le plus évident est bien entendu la physique et son large champ disciplinaire. Cependant, cette technologie a trouvé des applications également dans d'autres disciplines et il n'est pas rare d'en trouver par exemple chez des biologistes ou des archéologues.

Pour les personnels, la mise en œuvre de ces équipements présente des risques, particulièrement au niveau des yeux, organes les plus vulnérables, mais également pour la peau. Ces risques sont directement induits par le faisceau laser lui-même, et leur importance dépend de ses caractéristiques.

Par ailleurs, les installations lasers comportent dans leur ensemble des risques « associés » tels que ceux liés à l'usage d'agents chimiques dangereux, la proximité de courants forts, des nuisances sonores... qu'il convient également de prendre en considération lors de leur mise en œuvre.

Ce cahier de prévention est destiné à toute personne concernée par l'organisation et la réalisation d'expériences nécessitant l'utilisation d'un faisceau laser. Il a pour objectif de faciliter la compréhension et la mise en œuvre des textes réglementaires et des normes en vigueur en matière de sécurité laser.

Il se présente sous la forme d'un fascicule structuré en chapitres thématiques consultables indépendamment, au gré du lecteur. Des fiches séparées présentent des modèles de documents et des précisions permettant d'approfondir un sujet déterminé. Elles sont signalées dans le corps du texte par un numéro. Il est à noter qu'elles n'apparaissent pas par ordre croissant dans le corps de ce guide car elles sont issues du « kit ROA » du CNRS dans lequel elles sont présentées dans un ordre logique qui a été conservé dans ce document.



2. Réglementation relative à la prévention des risques liés aux lasers

La réglementation de portée générale sur la prévention des travailleurs contre les risques résultant de leur exposition aux rayonnements optiques artificiels (ROA) (décret n°2010-750 du 2 juillet 2010) est limitée aux rayonnements de longueurs d'onde comprises entre 100 nanomètres et 1 millimètre provenant d'une source cohérente (laser) ou non cohérente, à l'exception de la lumière naturelle.

Ce décret est la transposition française de la directive 2006/25/CE du Parlement européen et du Conseil du 5 avril 2006, et est retranscrit dans le Code du travail aux articles R. 4452-1 à R. 4452-31 et leurs 2 annexes.

La réglementation définit les rayonnements optiques artificiels et les grandeurs radiométriques caractéristiques nécessaires pour l'évaluation des risques. Elle fixe des mesures d'évaluation et de prévention, notamment les valeurs limites d'exposition (VLE) ainsi que diverses dispositions concernant la formation, l'information et la surveillance médicale des travailleurs susceptibles d'être exposés aux ROA.

L'employeur doit déterminer la nature, la durée et les conditions de l'exposition des travailleurs

afin d'évaluer les risques oculaires et cutanés, et définir les mesures de prévention à mettre en œuvre.

Les résultats de l'évaluation des risques professionnels doivent être transcrits dans le document unique, tenu à la disposition du personnel et du (des) service(s) de prévention concerné(s).

L'évaluation est notamment réalisée sur la base :

- du classement des ROA,
- des effets oculaires et cutanés pouvant résulter d'une exposition aux ROA.

La prévention est fondée sur le respect des principes généraux de prévention (article L. 4121-2 du Code du travail) ainsi que sur la mise en œuvre de mesures techniques, organisationnelles et humaines adaptées.

La prévention du risque lié à l'utilisation de ROA est encadrée par de nombreux textes réglementaires et normatifs. **L'annexe 1** répertorie la plupart d'entre eux.

Le cas particulier de l'utilisation des lasers en extérieur représente un danger pour le public.

Des réglementations spécifiques s'appliquent aux activités :

- relevant des établissements recevant du public,
- présentant un danger potentiel pour les aéronefs en vol (CAG - circulation aérienne générale). Dans ce cas, la réglementation est issue des recommandations émises par la direction générale de l'aviation civile et l'organisation de l'aviation civile internationale (DGAC et OACI).

L'évaluation des risques et les démarches administratives à réaliser préalablement à la mise en œuvre de ces lasers en extérieur sont présentées dans la **fiche 14**.

3. Définitions relatives à l'émission laser

La lumière, qu'elle soit naturelle (soleil) ou artificielle (bougie, phare de voiture...), est le résultat d'une émission spontanée: la source émet des photons d'énergie différente, sans direction privilégiée, et sans relation de phase. L'œil, qui est sensible à l'énergie lumineuse, perçoit un effet lumineux moyen.

Le principe du laser (acronyme de « light amplification by stimulated emission of radiation ») repose sur l'émission stimulée de photons: un photon incident dans la matière entraîne l'émission d'un photon identique (un clone) qui possède les mêmes propriétés en termes d'énergie, de direction, et de phase. L'émission stimulée donne à la lumière laser ses caractéristiques les plus marquantes: monochromatisme, directivité, cohérence.

L'oscillateur laser, ou source laser, est un système à rétroaction composé de:

- un milieu amplificateur (le milieu à gain) ;
- une source d'énergie (le pompage) ;
- une boucle de rétroaction (la cavité optique).

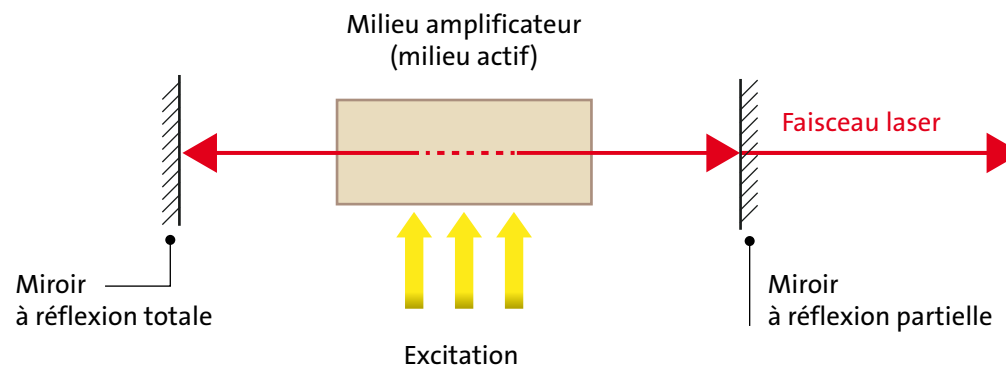
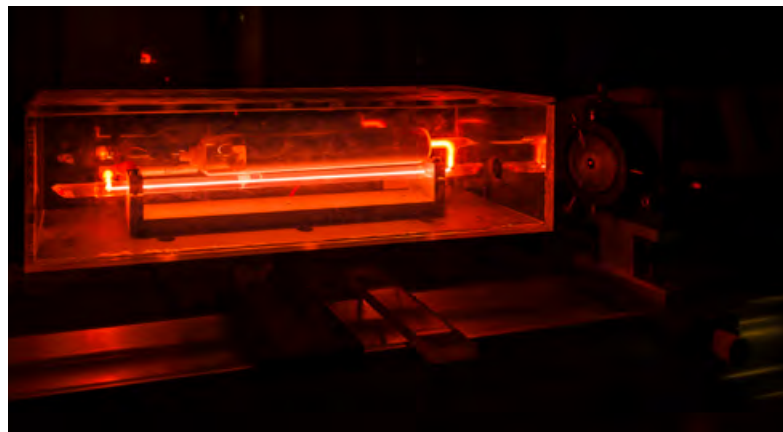


Figure 1 Schéma de principe d'une cavité laser



© Cyril Frésillon/LPL/FIRST-TF/CMRS Photothèque

Laser hélium-néon à cœur ouvert. Cette expérience est utilisée pour montrer les différentes briques d'un laser (milieu amplificateur, pompage, cavité) et expliquer le fonctionnement de ce type de source lumineuse.

Le pompage consiste à fournir de l'énergie au milieu à gain afin de permettre le mécanisme d'émission stimulée. Le système le plus répandu utilise 4 niveaux d'énergie.

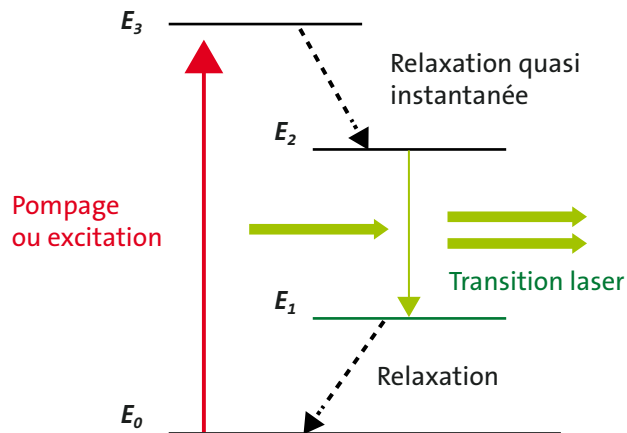


Figure 2 Système laser à 4 niveaux d'énergie

Dans un milieu au repos, les atomes sont à l'état fondamental qui est celui le plus peuplé.

Sous l'effet d'une excitation externe (pompage), des atomes vont absorber de l'énergie pour se retrouver sur un niveau énergétique supérieur E_3 qui constitue un réservoir d'énergie. L'ensemble des atomes se trouvant dans cet état va revenir vers l'état fondamental en occupant différents niveaux intermédiaires E_2 et E_1 . Chaque niveau énergétique est caractérisé par un temps de résidence (ou durée de vie) des atomes sur ces niveaux. Dans l'exemple présenté en figure 2, le niveau E_3 se vide rapidement par relaxation vers

le niveau E_2 de durée de vie longue. Le niveau E_1 , quant à lui, se caractérise par une durée de vie courte, et se vide rapidement vers le niveau fondamental.

La transition laser a lieu entre les niveaux E_2 et E_1 , et la configuration décrite favorise la population du niveau E_2 par rapport à E_1 : il y a plus d'atomes occupant le niveau E_2 que le niveau E_1 . On parle alors d'inversion de population.

L'énergie libérée lors du retour d'un atome à un niveau inférieur détermine la longueur d'onde de la lumière créée.

Le pompage et la cavité sont adaptés à la longueur d'onde recherchée.

3.1. Longueurs d'onde (λ)

Les lasers couvrent le domaine spectral compris entre les UV extrêmes et les micro-ondes (de 100 nm à 1 mm de longueur d'onde).

La longueur d'onde est principalement liée aux caractéristiques spectroscopiques du milieu à gain. Elle est éventuellement mise en forme par les éléments de la cavité, qui agissent comme un filtre.

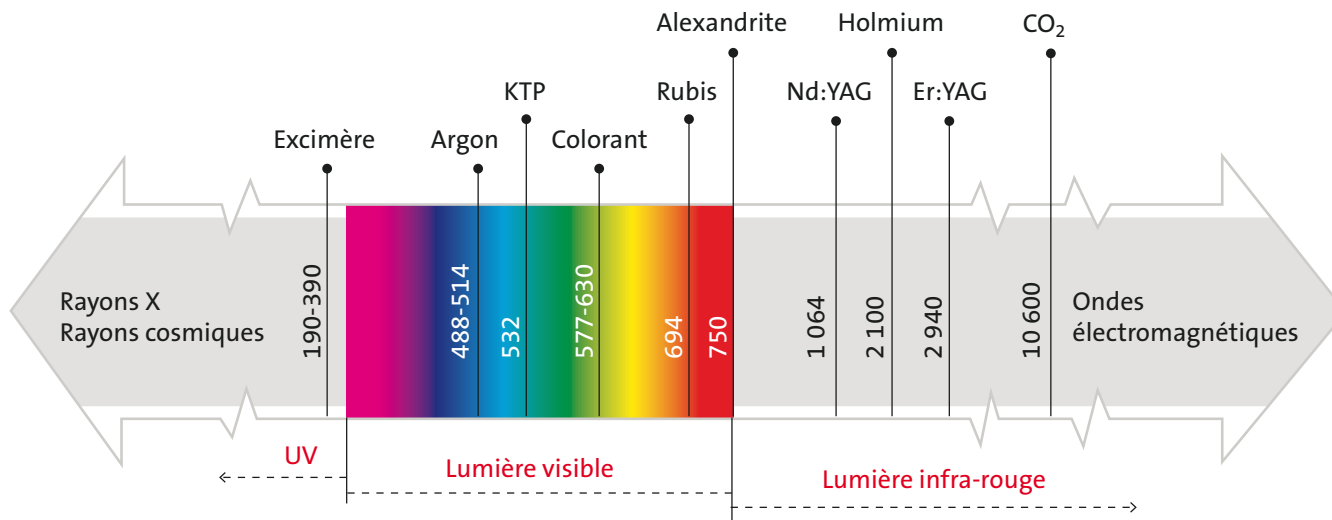


Figure 3 Domaine spectral couvert par les principaux lasers

Les longueurs d'onde rencontrées le plus fréquemment sont :

- 633 nm : He-Ne
- 800 nm : Ti:Sa
- 1 064 nm : Nd:YAG
- 10,6 μm : CO_2

En considérant les valeurs réglementaires et normatives, la plage du «visible» se situe entre 380 et 780 nm. Toutefois, on parle couramment de la plage 400 - 700nm.

3.2. Types de laser

Ils dépendent de la nature du milieu à gain et du type de pompage associé.

3.2.1. Lasers à gaz

Le milieu à gain est constitué d'un gaz ou d'un mélange de gaz à basse ou haute pression, en tube scellé ou à circulation. Ces gaz peuvent être inertes, corrosifs ou toxiques. Ils induisent des risques autres que ceux directement liés au faisceau (**Chapitre 8**).

Le pompage est généralement effectué par décharge haute tension (1 à 10 kV).

► Exemples

- He-Ne : 633 nm
- Ar⁺, Kr⁺ : 364 nm, 488 nm, 514 nm
- vapeur de cuivre : 510 nm, 578 nm
- CO_2 : 10,6 μm
- excimères (ArF, KrF, XeCl) : 193 nm, 248 nm, 308 nm

3.2.2. Lasers à liquide

Leur milieu actif est une molécule organique dissoute dans un solvant (éthylène glycol, méthanol...).

Ils sont souvent pompés par un autre laser, plus rarement par lampe flash (lampe émettant une lumière pulsée intense, pouvant couvrir tout le spectre UV, visible et proche infrarouge).

À partir d'un même équipement, en faisant varier la nature du colorant (ou sa concentration) et celle du solvant, il est possible d'atteindre des gammes de longueurs d'onde différentes.

Les colorants utilisés couvrent tout le domaine visible.

Tous les colorants et solvants utilisés présentent des risques chimiques qui sont abordés au **sous-chapitre 8.3**.

3.2.3. Lasers à solide

Dans cette catégorie, les milieux à gain se composent de verres ou de cristaux dopés avec un élément actif.

Le pompage des verres est réalisé par lampe flash. Les cristaux peuvent être pompés par flash ou par un autre laser de longueur d'onde adaptée.

► Exemples

- Ti :Sa : 800 nm
- Yb :CaF₂ : 1 030 nm
- Nd :YAG : 1 064 nm
- Nd :YLF : 1 053 nm

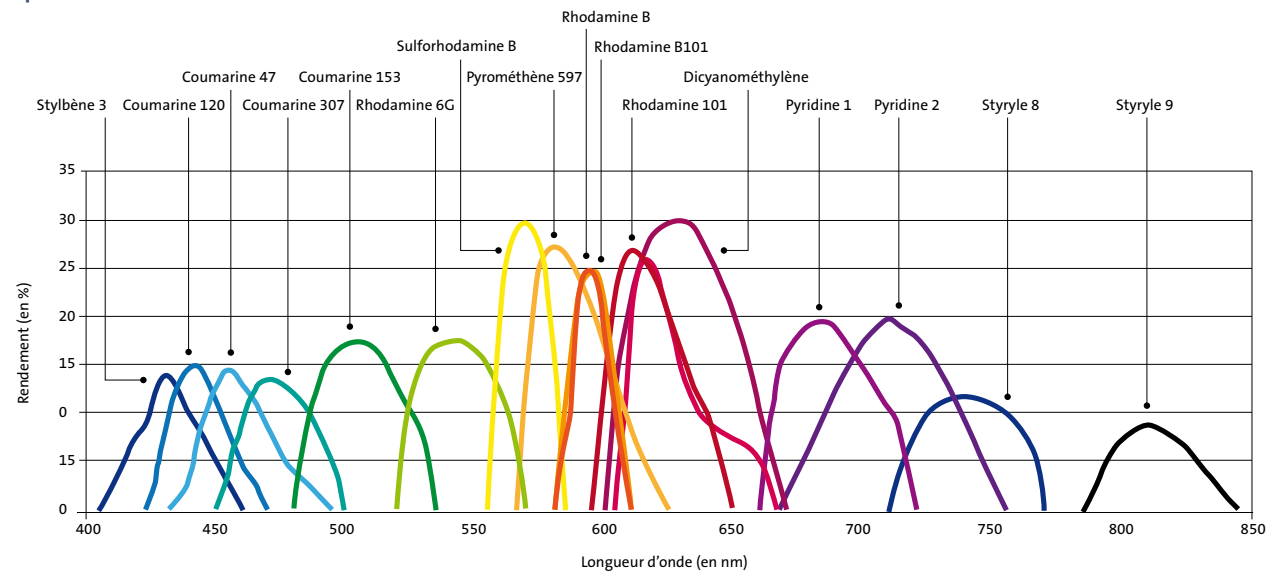


Figure 4 Courbe d'efficacité spectrale des principaux colorants lasers

(Source : d'après <http://radiant-dyes.com/index.php/products/laser-dyes/list-of-laser-dyes>)

Cette catégorie inclut également les diodes laser. Ces équipements permettent d'atteindre une large gamme de longueurs d'onde et remplacent progressivement d'autres technologies (laser à gaz par exemple).

► Exemples

- AlGaAs : 808 nm
- InGaAs : 940 nm, 980 nm

3.2.4. Lasers accordables

Lorsque les niveaux responsables de la transition laser sont larges, la transition laser est mal définie et conduit à élargir le spectre d'émission possible. C'est le cas par exemple des lasers à colorants et des lasers à solides (verres et certains cristaux tels que Ti:Sa, Yb³⁺, CaF₂), mais également des lasers de type oscillateur paramétrique optique.

En conséquence la longueur d'onde d'émission peut varier, éventuellement sur une large gamme, raison pour laquelle ces équipements nécessitent une attention particulière en matière de prévention des risques.

3.2.5. Lasers blancs

L'injection d'une impulsion courte dans une fibre optique adaptée peut produire un continuum de lumière blanche couvrant l'ensemble du spectre visible ainsi qu'une partie du proche infrarouge. La puissance émise peut atteindre plusieurs watts.

La large distribution spectrale (notamment dans le visible) du rayonnement émis rend insuffisante voire inappropriée l'utilisation des protecteurs oculaires habituellement utilisés pour le risque laser. Il est d'autant plus important, pour ce type d'équipement, de mettre en place et de respecter les mesures de prévention collectives et organisationnelles.

3.2.6. Lasers multi-raies

Certains milieux à gain permettent l'émission simultanée et superposée de plusieurs longueurs d'onde. La sélection de la longueur d'onde recherchée doit alors être réalisée par un élément filtrant dans la cavité.

Sans la mise en place de cet élément filtrant, le rayonnement émis peut comporter plusieurs longueurs d'onde avec des éclaircissements différents.

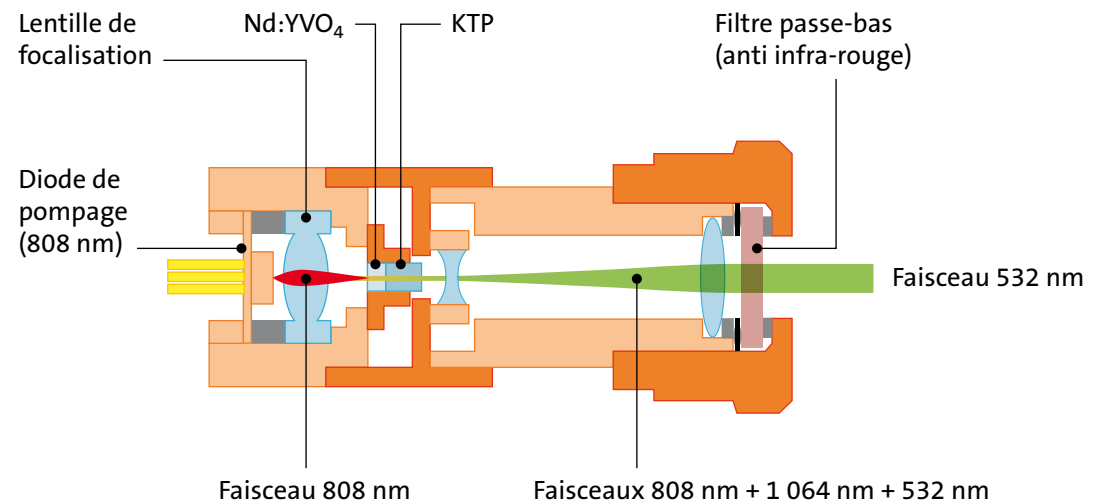


Figure 5 Configuration interne d'un pointeur laser vert

Il est également possible, dans un même appareil, de rencontrer plusieurs longueurs d'onde : laser de pompe, milieu actif, conversion de fréquence. Il convient alors de se protéger de toutes les longueurs d'onde émises, et de s'assurer des caractéristiques du (des) faisceau(x) réellement accessible(s).

Par exemple, le faisceau délivré par le pointeur laser de la **figure 5** peut posséder des composantes

à 532 nm (conversion par le cristal KTP) avec des rayonnements résiduels à 1064 nm (cristal Nd:YVO₄) et 808 nm (diode de pompe).

Par précaution, il est nécessaire de vérifier l'absence de rayonnement résiduel infrarouge, par exemple, à l'aide d'un filtre anti-infrarouge ou en s'assurant que la puissance délivrée n'est pas supérieure à la puissance nominale.

Milieu actif	Longueur d'onde	Régime continu et pulsé	Cadence	Puissance et énergie
GAZ				
Azote	337 nm	100 ns	1 à 10 Hz	1 mJ à 100 mJ
Excimères	157 à 350 nm	10 à 60 ns	1 Hz à 10 kHz	1 mJ à 1 J
Gaz ionisés (Ar, Kr)	350 à 800 nm	Continu		0,1 à 40 W
CO ₂	10 600 nm	Continu 10 à 100 ns	10 kHz	1 W à 50 kW
SOLIDE				
Rubis	694 nm			
Nd:YAG	1064 nm + harmoniques	30 ps à 30 ns	1 à 80 kHz	1 mJ à 50 J
Titane-saphir	370 à 3 000 nm	< 80 fs	1 à 50 kHz	0 à 0,2 J
Diodes lasers	Grande variété 400 à 3 000 nm	Continu ou modulable		1 à 200 mW
LIQUIDE				
Colorants	Accordable 350 à 1 000 nm	Continu ou impulsionnel		

Tableau 1 Exemples de lasers et leurs principales caractéristiques

3.3. Géométrie du faisceau

Les faisceaux laser sont généralement circulaires, et leur diamètre en est naturellement mesuré :

- à mi-hauteur
- à $1/e^2$
- pied à pied

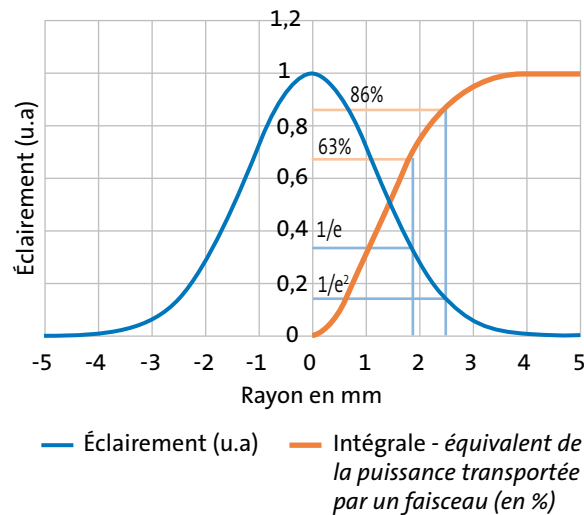


Figure 6 Exemple d'un profil gaussien

Le profil spatial est souvent gaussien, on parle alors de faisceau monomode transverse. Si plusieurs modes transverse peuvent coexister dans la cavité, le profil est composé d'une figure symétrique avec autant de zones énergétiques.

La cavité peut également intégrer des systèmes qui modifient le profil du faisceau pour le rendre plus homogène, jusqu'à obtenir un profil spatial plat.

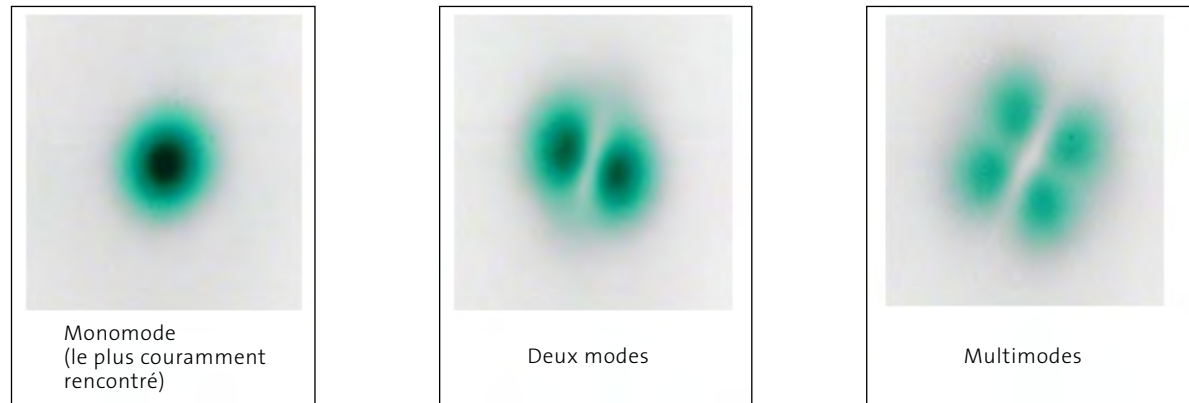


Figure 7 Profils spatiaux des faisceaux lasers

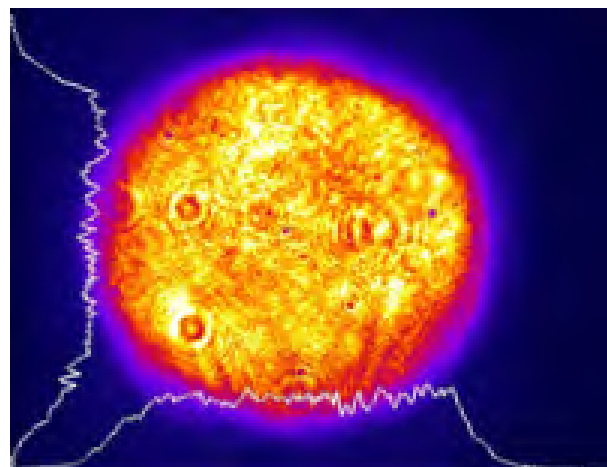


Figure 8 Exemple de profil de faisceau laser mesuré au moyen d'un analyseur de faisceau

3.4. Divergence du faisceau

Même si elle est généralement faible, la divergence affecte tous les faisceaux laser. Elle peut commodément s'exprimer par une approximation aux petits angles, en milliradians (mrad). Un milliradian correspond à l'angle aigu d'un triangle isocèle de 1 m de hauteur et 1 mm de longueur de côté. Plus le diamètre du faisceau augmente, plus la divergence diminue. On dit d'un faisceau qu'il est collimaté lorsque sa divergence est quasiment nulle, c'est-à-dire de l'ordre 1 mrad (faisceau parallèle).

L'utilisation d'une source de diamètre important permet de propager le faisceau sur une longue distance.

Pour les sources fibrées, c'est la géométrie de la fibre qui définit la divergence (α) du faisceau en sortie. Elle est souvent élevée, de l'ordre de 10° soit 175 mrad.

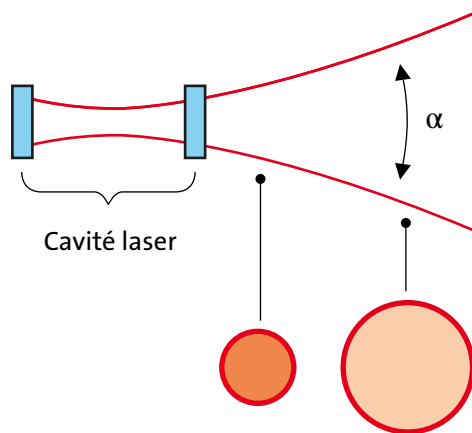


Figure 9 Effet de la divergence

La divergence α a pour effet de diluer l'éclairement laser, mesuré en W/m^2 , sur une plus grande surface, c'est-à-dire diminuer l'énergie déposée par unité de surface.

Attention aux conventions retenues : on parle souvent de demi-angle, alors que les normes en matière de sécurité utilisent l'angle total.

3.5. Type d'émission laser

3.5.1. Émission continue

L'oscillateur laser émet un faisceau continu lorsque le mode de pompage est continu dans un milieu à gain adapté. On parle de mode D (vient de l'allemand « Dauerstrich » qui signifie « onde continue »). La puissance lumineuse est exprimée en Watt.

3.5.2. Émission impulsionnelle

Une source laser est dite impulsionnelle lorsque l'émission est découpée dans le temps en impulsions uniques ou répétitives, dans le but d'en augmenter l'intensité lumineuse, ou de favoriser l'effet laser.

Il est par exemple possible d'obtenir un train continu d'impulsions.

Il existe trois gammes de durées d'impulsion :

- RÉGIME RELAXÉ (mode I, vient de l'allemand « Impuls »).

Le pompage n'est plus continu, mais impulsionnel. Dès que le pompage s'établit, l'émission laser s'installe. Quand le pompage cesse, l'émission laser disparaît. On obtient ainsi des impulsions d'une durée comprise entre une milliseconde (ms) et une microseconde (μs).

- RÉGIME DÉCLENCHÉ (mode R, vient de l'allemand « Riesenimpuls » qui signifie « impulsion géante »).

Un dispositif placé dans la cavité empêche temporairement l'émission du rayonnement. L'ouverture ultrarapide de ce dispositif au moment où l'inversion de population atteint son maximum génère une impulsion laser géante. Il est ainsi possible d'obtenir des impulsions d'une durée comprise entre une microseconde (μs) et une nanoseconde (ns).

- RÉGIME À MODES BLOQUÉS (mode M, vient de l'allemand « Modenkopplung » qui signifie « couplage de mode »).

Un modulateur ultrarapide périodique est inséré dans la cavité laser. Ce dispositif permet la génération d'impulsions d'une durée inférieure à la nanoseconde.

Dans ces trois cas, l'énergie lumineuse de chaque impulsion est exprimée en Joules. On peut également mesurer la puissance moyenne de toutes les impulsions exprimée en Watts, en prenant en compte la cadence de répétition.

3.6. Énergie et puissance

La puissance lumineuse est exprimée en Watt et l'énergie en Joule. La relation entre les deux grandeurs fait intervenir le temps :

$$E_{imp} = \int P(t).dt$$

La puissance moyenne d'un laser impulsionnel est donnée par l'énergie cumulée pendant une seconde. Inversement, la puissance de crête ($P_{crête}$) d'une impulsion brève est donnée par l'énergie de l'impulsion (E_{imp}) divisée par la durée (Δt) de l'impulsion.

$$P_{crête} = \frac{E_{imp}}{\Delta t}$$

L'effet sur les tissus est lié à l'éclairement exprimé en intensité par unité de surface (W/m^2 ou J/m^2). À intensité égale, plus la surface diminue, plus l'éclairement augmente.

4. Les grandeurs intéressantes en matière de sécurité

Ce chapitre présente les 3 principales grandeurs physiques de sécurité laser : les classes, les valeurs limites d'exposition (VLE) et la distance nominale de risque oculaire (DNRO). L'application LISA du CNRS propose le calcul de ces grandeurs (**Fiche 4**).

4.1. Les classes

La classe d'un laser est la première information renseignant sur la dangerosité du laser. Cette information est facilement accessible. Elle est mentionnée sur l'appareil laser ainsi que sur sa notice d'utilisation. Il s'agit d'une obligation réglementaire et normative pour le fabricant.

Ces classes sont issues de la norme NF EN 60825-1 et sont définies en fonction du niveau d'éclairement maximal, appelé limite d'émission accessible (LEA). En outre, l'annexe C de cette norme présente les dangers potentiellement associés aux classes.

Ces classes, au nombre de 8, peuvent être résumées de la façon suivante :

- Classe 1 : appareil sans danger pendant son utilisation, y compris en vision directe sur une longue période, même en cas d'utilisation d'instrument optique d'observation.
- Classe 1M : faisceau sans danger laser, y compris en vision directe sur une longue période (œil nu) ; la vision par un instrument d'optique peut être dangereuse (la lettre « M » vient de « magnifying optical viewing instruments » en anglais signifiant « instruments optiques d'observation grossissants »).
- Classe 1C* : pas de danger oculaire ; la VLE (**Sous-chapitre 4.2.**) de la peau (ou autres tissus non oculaires) peut être dépassée dans le cadre d'une exposition intentionnelle (la lettre « C » vient du terme « contact », déduit du mode de fonctionnement).
- Classe 2 : sans danger** pour des expositions momentanées (0,25 s), valable uniquement pour la gamme de longueur d'onde 400-700 nm.

- Classe 2M : sans danger** pour une courte durée ; lésion possible en cas de visualisation par instrument d'optique.
- Classe 3R : laser dépassant l'exposition maximale permise (EMP) (**Sous-chapitre 4.2.**) pour une vision directe dans le faisceau (la lettre « R » vient de l'expression « exigences réduites »).
- Classe 3B : dangereux si exposition oculaire au faisceau direct, quelle que soit la durée d'exposition. Les réflexions diffuses sont normalement sans danger mais l'EMP peut être dépassée en cas d'utilisation d'instrument optique d'observation. De plus, il existe un risque d'incendie dû au faisceau direct (la lettre « B » est historique car issue de la première classification).
- Classe 4 : vision directe dangereuse, exposition de la peau dangereuse, réflexion diffuse dangereuse et risque d'incendie important, même pour une réflexion diffuse.

**Cette classe concerne les applications directes avec exposition intentionnelle du rayonnement sur la peau ou les tissus corporels internes dans le cadre de procédures médicales, de diagnostics, thérapeutiques ou cosmétiques. Le rayonnement laser émis peut être de classe 3R, 3B ou 4 mais les dispositifs techniques de l'appareil empêchent l'exposition oculaire (le faisceau ne peut être émis que si l'applicateur est en contact avec la peau, ou très proche de la peau ou du tissu corporel interne), ce qui permet de ramener la classe de danger à la classe 1. Par extension, les exigences de cette classe peuvent être appliquées aux appareillages à laser développés par exemple dans le cadre de la recherche biomédicale au CNRS.*

***La notion de « sans danger » est en lien avec l'absence de lésion. Cependant, ces faisceaux peuvent être à l'origine d'éblouissement intense et douloureux.*

La notion de classe peut s'appliquer tant à un appareil à laser qu'à un rayonnement émis.

De nombreux appareils à laser intègrent un laser de classe supérieure ou égale à la classe 3R. Ces appareils à laser peuvent cependant être ramenés à une classe 1 (ou à la classe 1C pour les dispositifs médicaux, de diagnostic, thérapeutiques ou cosmétiques) par des dispositifs de sécurité intrinsèque ne permettant pas aux utilisateurs une exposition au faisceau laser dans les conditions normales d'utilisation (hors phase de réglage et de maintenance).

Cette situation se retrouve dans beaucoup d'installations laser de la vie courante (lecteur DVD, caisse de supermarché...) mais aussi dans nos laboratoires de recherche : microscope, FTIR, spectromètre...

Dans les unités de recherche, il est encore possible de rencontrer des installations classées selon l'« ancienne » classification : 1, 2, 3A, 3B, 4.

La logique reste la même :

- Classe 1 : sans danger**.
- Classe 2 : spécifique au visible, sans danger pour une exposition de courte durée.
- Classe 3A : pas de danger pour la vision à l'œil nu. La vision par un instrument d'optique peut

**La notion de « sans danger » est en lien avec l'absence de lésion. Cependant, ces faisceaux peuvent être à l'origine d'éblouissement intense et douloureux.

	Exposition directe	Réflexion spéculaire ⁽¹⁾	Réflexion diffuse	Incendie/brûlure
Classe 1	Exposition jamais dangereuse			
Classe 1C	Exposition oculaire impossible			!
Classe 1M	!	!		
Classe 2	! si > 0,25 s	! si > 0,25 s		
Classe 2M	! si > 0,25 s	! si > 0,25 s		
Classe 3R	!	!		
Classe 3B	!!	!!	!	!
Classe 4	!!	!!	!!	!!

⁽¹⁾ Réflexion spéculaire : le rayon réfléchi est unique et idéalement toute l'énergie incidente est présente.

Classe 2 : 400- 700 nm - Émission uniquement dans le visible.

Tableau 2 Dangers associés aux classes des lasers

être dangereuse selon la longueur d'onde. Elle correspond ainsi aux classes de la nouvelle classification 2M pour le visible et 1M pour les autres longueurs d'onde.

- Classe 3B : EMP dépassée dans le faisceau.
- Classe 4 : toutes expositions dangereuses y compris après une réflexion diffuse.

! : danger accru si vision par instrument optique

! : dangereux

! : dangereux (exposition intentionnelle de la peau ou autres tissus non oculaires dans le cadre de traitements médicaux uniquement)

!! : très dangereux

La détermination de la classe d'un laser est obligatoire et doit être faite par le fabricant de l'équipement. Si le laser est développé en interne par un laboratoire de recherche, la détermination de la classe du laser incombe à l'unité.

Focus sur les pointeurs laser

De plus en plus utilisé dans l'enseignement et la formation, cet équipement n'est pas à prendre à la légère. Il est en effet possible de trouver dans le commerce des modèles d'une puissance non adaptée pour une utilisation dans un amphithéâtre ou une salle de formation, tels que des modèles prévus pour les professionnels et amateurs en astronomie (pointage des objets



Figure 10 Pointeur laser adapté à l'enseignement (classe 2)

célestes). Du fait de leur accessibilité (coût modeste, disponibilité sur internet) et d'une utilisation malveillante croissante (cockpit d'avion visé), la réglementation en matière de sécurité intérieure (**Annexe 1**) s'est nettement durcie ces dernières années. Ainsi les usages spécifiques pour les appareils à laser sortant d'une classe supérieure à 2 sont strictement encadrés par la loi.

Sur le plan scientifique, il s'agit d'utilisation :

- scientifique destinée à améliorer les connaissances,
- destinée à déclencher un processus nécessaire à une expérimentation scientifique ou à mesurer une donnée physique ou biologique,
- scientifique pour l'enseignement, notamment dans le cadre de travaux pratiques.

En conséquence, il est important de veiller à ce que les personnels des unités de recherche utilisent un modèle de pointeur laser adapté pour les cours d'enseignement théorique, séminaires et présentations scientifiques. Il doit disposer d'un marquage précisant la classe qui ne doit pas être supérieure à la classe 2.

Cependant cette information n'étant pas systématiquement disponible sur les sites de vente par correspondance (internet), il faut vérifier que la puissance de sortie ne dépasse pas 1 mW pour un faisceau continu de classe 2 ou à défaut que le modèle soit spécifiquement conçu pour une présentation projetée sur écran.

4.2. Les VLE/EMP

Les valeurs limites d'exposition (VLE) et l'exposition maximale permise (EMP) recouvrent les mêmes notions mais se réfèrent à des textes différents, respectivement le Code du travail et la norme. De ce fait, en France, seule la terminologie « VLE » est d'application obligatoire.

L'exposition maximale permise (EMP) est définie comme étant le « niveau du rayonnement laser auquel des personnes peuvent être exposées dans les conditions normales sans subir d'effets nuisibles. Les niveaux d'EMP représentent le niveau maximal auquel l'œil ou la peau peut être exposé sans subir un dommage consécutif immédiatement ou après une longue durée. »

Les VLE sont les valeurs limites du niveau d'exposition aux rayonnements optiques fondées directement sur des effets avérés sur la santé et des considérations biologiques. Leur respect garantit que les travailleurs exposés à des sources artificielles de rayonnement optique sont protégés de tout effet nocif connu sur la santé.

Cette définition, qui s'applique indifféremment aux rayonnements optiques artificiels cohérents (laser) et incohérents, est complétée dans le décret (2010) par 2 annexes de calculs concernant chacune un type de rayonnement.

La détermination du niveau d'exposition peut faire l'objet d'un mesurage renouvelé au moins tous les cinq ans. Le cas échéant, le résultat doit être précisé dans la FIEROA (**Paragraphe 7.1.6.**).

En pratique, le niveau d'exposition NE au poste de travail est calculé puis comparé à la VLE, elle-même calculée selon la méthode précisée ci-dessous, en lien avec les annexes du décret 2010-750 du 2 juillet 2010. Le rapport de ces deux valeurs permet d'obtenir le niveau de risque.

Base de temps pour les calculs

Les annexes de calcul présentes dans le décret n'apportent que des informations parcellaires sur ce point. Le décret donne deux tableaux pour les VLE pour l'œil, le premier (tableau 2.2) pour les expositions de durées comprises entre 10^{-13} s et 10 s, le second (tableau 2.3) pour les expositions de durée comprises entre 10 et 3.10^4 s.

Il est toutefois possible de s'inspirer des articles de l'ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* - <https://www.icnirp.org/>) à l'origine de la directive européenne 2006/25/CE, elle-même à l'origine du décret 2010-750.

En s'appuyant également sur les tableaux du décret et les quelques indications présentes, et en considérant que tant les VLE que le niveau d'exposition doivent refléter l'exposition réelle, il est possible de recommander les bases de temps suivantes, pour trois cas différents :

- Cas N° 1 : lasers continus,
- Cas N° 2 : lasers à impulsion unique,
- Cas N° 3 : lasers à impulsions répétitives.

Cas N° 1 - Dans le cas d'un laser continu, la durée Δt à prendre en compte correspond à la durée effective d'une exposition. Le tableau 3 propose des durées pour les expositions accidentelles. Pour les visées intentionnelles, le temps à prendre en compte est le temps maximal prévisible T_{max} . Il est crucial de souligner qu'en aucun cas, la manipulation de lasers en laboratoire ne doit mener à une visée intentionnelle du faisceau.

À NOTER : T_{max} est proposé à 10 s en raison d'une protection apportée, spécifiquement dans la gamme 700 - 1 400 nm, par les mouvements du globe oculaire.

Gamme de longueur d'onde	Durée exposition accidentelle
180 nm - 400 nm	10 à 100 s
400 nm - 700 nm	0,25 s (réflexe palpébral)
700 nm – 1400 nm	10 s
1400 nm – 1 mm	10 à 100 s

Tableau 3 Durées proposées pour le calcul de la VLE et du niveau d'exposition pour les lasers continus dans le cas d'une exposition accidentelle

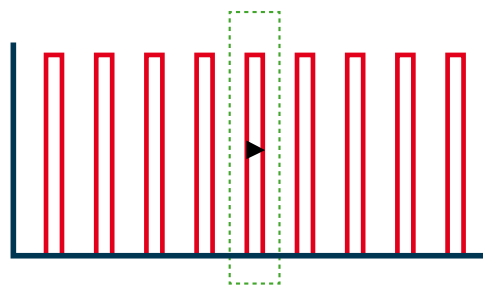
- Cas N° 2 : Dans le cas d'un laser impulsif à impulsion unique, la durée d'exposition Δt correspond à la durée de l'impulsion (t_{imp} , durée à mi-hauteur).

Cas N° 3 - Dans le cas d'un laser à impulsions répétitives, trois durées d'exposition sont à prendre en compte, amenant à calculer trois VLE, toutes à respecter.

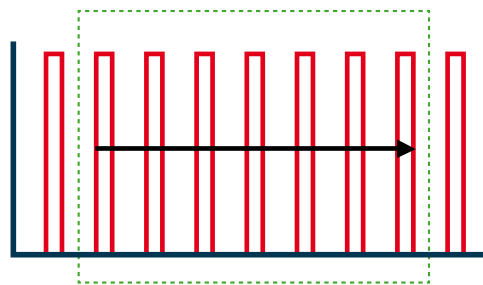
a. L'exposition induite par une impulsion est inférieure à la VLE d'une impulsion.

b. L'exposition induite par un groupe d'impulsions délivrées pendant un temps t est inférieure à la VLE calculée pour ce temps t . Le temps t n'est pas explicité dans le décret. Les références bibliographiques précisent que t prend toute valeur de t_{imp} à T_{max} . En pratique, pour les expositions accidentelles, t est déterminé de la même façon que pour les lasers continus (cf. tableau 3).

c. L'exposition résultant d'une impulsion unique ne dépasse pas la VLE d'une impulsion unique multipliée par un facteur de correction thermique $C_p = N^{-0,25}$. L'interprétation du décret permet de préciser que N est le nombre d'impulsions délivrées en un temps T_{min} explicité dans le décret et fonction de la longueur d'onde.



Cas a



Cas b

Figure 11 Représentation schématique des calculs de VLE. NB : le cas c ne permet pas de représentation schématique

Mesure du niveau d'exposition

L'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 indique que l'évaluation du niveau d'exposition est à réaliser si l'évaluation des risques basée sur l'étude des documents techniques ne conclut pas à l'absence de risque. Le niveau d'exposition est calculé à partir des caractéristiques des sources et du poste de travail. Si le calcul du niveau d'exposition n'est pas réalisable, il convient alors de mesurer le niveau d'exposition. La mesure, pour les rayonnements cohérents, doit alors être pratiquée conformément aux pratiques de la métrologie, la méthode étant proposée et conservée au sein de l'unité.

L'arrêté précise que le classement du laser, déterminé conformément à la norme EN 60825-1 de 2014, satisfait aux exigences du point 9 de l'article R4452-8 du Code du travail pour l'évaluation des risques à mener par l'employeur. La classe d'un laser représente donc, réglementairement et en pratique, la façon la plus simple et la plus directe de représenter le niveau de risque d'un appareil.

4.3. Les DNRO/ZNRO*

La distance nominale de risque oculaire (DNRO) est une caractéristique du faisceau laser qu'il est nécessaire de connaître pour procéder à une évaluation fine du risque que présente une installation.

Cette grandeur correspond à la distance, dans l'axe du faisceau, à partir de laquelle l'éclairement est égal à la VLE. Si la DNRO comprend la possibilité de vision assistée par utilisation d'aides optiques, elle est désignée « DNRO étendue » (DNRO_{diff}). Il est également possible de définir une DNRO pour les faisceaux diffus, on parle de DNRO_{diff}.

Déterminer cette grandeur présente deux principaux intérêts :

- organisationnel : lorsque cette distance est faible (moins de 10 cm), il est tout à fait envisageable de diminuer le niveau de sécurité de l'installation. Cela se fait dans le cadre d'une évaluation complète du risque et après avis du directeur d'unité.
- pédagogique : cette distance étant souvent importante (plusieurs dizaines de mètres), l'utilisateur dispose d'une information simple et explicite concernant la dangerosité du faisceau.

Des exemples de calcul de DNRO sont présentés dans la [fiche 7](#).

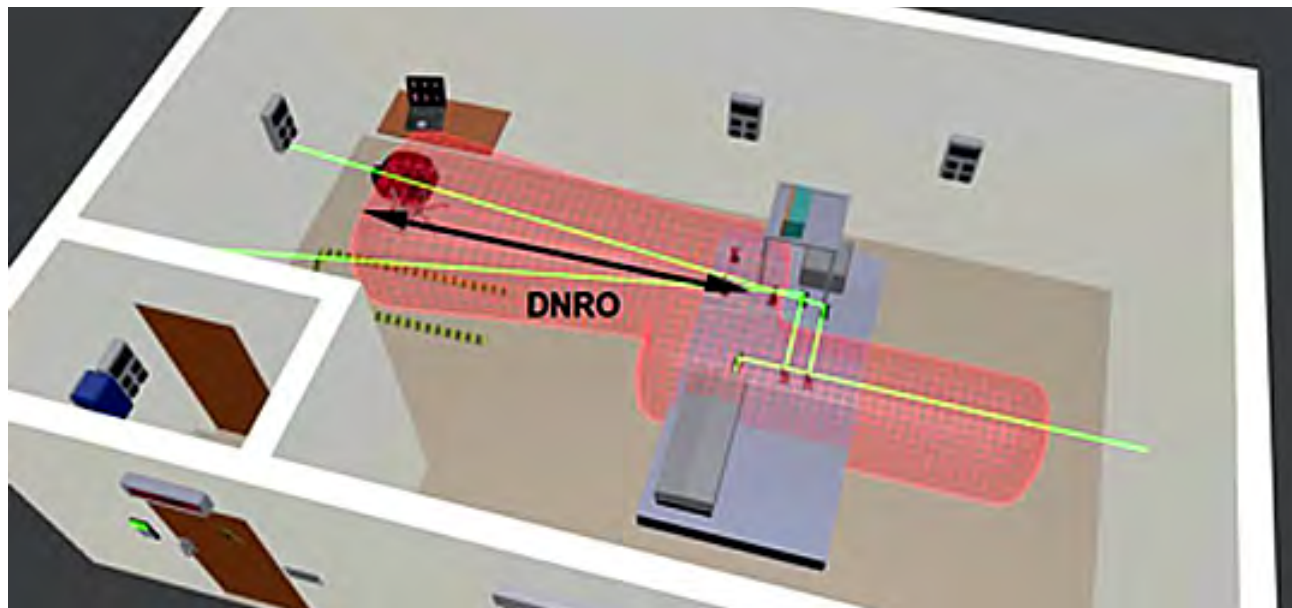


Figure 12 Représentation schématique d'une DNRO

La norme introduit également la notion de « zone nominale de risque oculaire » (ZNRO) correspondant à la zone tridimensionnelle à l'intérieur de laquelle l'éclairement ou l'exposition énergétique du faisceau dépassent l'exposition maximale permise (EMP) appropriée sur la cornée, y compris la possibilité de désalignement accidentel du faisceau laser. Si la ZNRO comprend la possibilité de vision assistée par utilisation d'aides optiques, elle est désignée « ZNRO étendue » (ZNERO).

Toutefois, il est recommandé d'assimiler la ZNRO au volume entier du local laser ([Paragraphe 7.2.1.](#)) à l'exception des zones qui restent inaccessibles au faisceau même en cas de désalignement accidentel.

Dans la même logique, il est possible de définir une distance nominale de risque cutané (DNRC) et ses variantes DNRC_{diff} et ZNRC.

*La norme dans sa version d'octobre 2014 introduit les notions de DNDO et de ZNDO (distance/zone nominale de danger oculaire) et non de DNRO/ZNRO. Ces notions sont identiques.

5. Le marquage de l'appareil

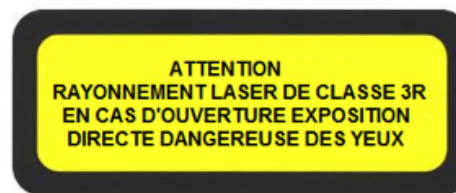
Des informations claires concernant le type de rayonnement auquel l'opérateur est susceptible d'être exposé doivent être placées sur l'appareil. Elles doivent être facilement accessibles et lisibles par l'opérateur.

La forme (critères obligatoires : taille, couleur) et les recommandations de libellé de cette signalétique sont définies par la norme NF EN 60825-1.

Cette signalisation comprend obligatoirement un pictogramme et une plaque indicative explicative.

Appareils à laser de classe 1 intégrant un laser d'une classe supérieure

Ils doivent également présenter une plaque indicative explicative sur le panneau ou le capot de protection ainsi que sur tout panneau d'accès d'une enceinte de protection qui, une fois enlevée ou déplacée, permet l'accès à ce rayonnement de classe supérieure.



› **Exemple** Plaques indicatives explicatives



REMARQUE

Le libellé des plaques indicatives explicatives présentées dans la norme est recommandé mais non obligatoire.

Le principe de ce marquage est d'informer l'utilisateur de l'évolution du niveau de risque (**Sous-chapitre 4.1.**) lors du retrait des protecteurs mis en place, comme lors d'une opération de maintenance par exemple. C'est particulièrement important dans le cas d'appareils à laser commerciaux de classes 1 et 1C (le poste de travail ne présente pas de risque oculaire) mais contenant un laser de classe supérieure.

6. Les risques liés au faisceau

Les risques résultent de l'interaction entre le faisceau et d'une part les tissus biologiques (œil et peau), d'autre part la matière (incendie...). Le danger peut provenir d'un faisceau direct ou réfléchi sur une surface polie ou diffusante.

Pour les tissus biologiques, les effets vont dépendre de plusieurs paramètres physiques :

- la longueur d'onde ;
- la puissance du faisceau ;
- la dimension de la source : ponctuelle ou étendue, diamètre apparent minimum ;
- la nature du faisceau : direct, indirect, non focalisé, focalisé, divergent, diffusé ;
- le temps d'exposition ;
- la distance par rapport au faisceau.

La **fiche 13** présente les conduites à tenir en cas d'exposition accidentelle avérée ou supposée au niveau de l'œil et de la peau.

6.1. Le risque oculaire

6.1.1. Structures de l'œil

L'œil est le siège de la vision, il capte les flux lumineux puis les envoie sous forme de signal électrique au cerveau via le nerf optique.

La cornée, paroi transparente de l'avant de l'œil, absorbe et dévie la lumière vers la rétine. Elle a

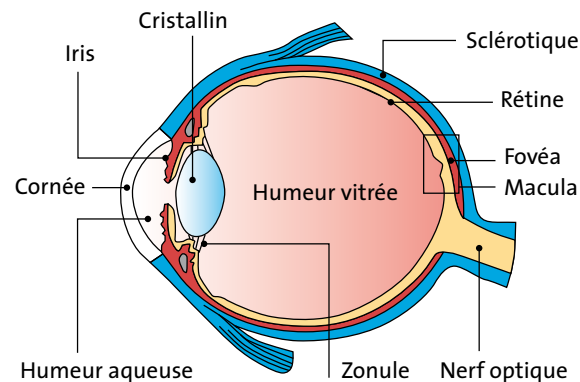


Figure 13 Les structures de l'œil

un rôle essentiel dans la réfraction des rayons lumineux.

Le cristallin est une lentille transparente, située juste derrière l'iris. Son rôle est de concentrer les rayons de lumière et de les projeter sur la rétine. C'est l'organe de l'accommodation, c'est-à-dire de la capacité de l'œil à ajuster sa vision et à focaliser l'image, que l'objet regardé soit lointain ou proche.

La rétine est une membrane transparente très fine qui recouvre la partie intérieure de l'œil, de l'iris jusqu'au nerf optique. C'est dans la rétine que se trouvent des cellules sensorielles :

- les cônes, sensibles aux détails des formes et aux couleurs,

- les bâtonnets, sensibles à la perception des contours et mouvements.

La macula, avec en son centre la fovéa, est la partie la plus sensible de la rétine, car elle comporte le plus de photorécepteurs. C'est elle qui permet la vision centrale et la vision des détails.

Ces cellules sensorielles vont transformer les stimuli lumineux en stimuli nerveux, qui seront transmis au cerveau via le nerf optique. Le cerveau va ensuite interpréter l'image.

6.1.2. Effets des rayonnements optiques sur l'œil

Ils dépendent des propriétés optiques des différents milieux oculaires et sont de plusieurs natures selon la longueur d'onde d'émission.

De façon générale, l'œil peut être assimilé à une lentille convergente. Lorsqu'un faisceau laser de forte puissance traverse l'œil, l'énergie déposée va se concentrer sur une tache focale de plus petit diamètre, localisée au niveau de la rétine, pouvant entraîner des dommages irréversibles.

Les rayons laser infrarouges (IR) pénètrent dans l'œil. Ils provoquent des lésions endommageant la conjonctive, la cornée, le cristallin et la rétine :

- la kératite est une inflammation de la cornée provoquant douleur, rougeur et photophobie, souvent associée à une conjonctivite ;

- la cataracte est une opacité du cristallin entraînant une baisse de vision ;
- l'atteinte rétinienne correspond à une lésion des cellules photoréceptrices : la brûlure sur la rétine peut être à l'origine d'une perte de la vue localisée et permanente, voire dans le pire des cas une cécité complète ;
- des brûlures de la cornée.

Ces lésions peuvent apparaître instantanément en l'absence de protection, si l'éclairement est important.

Les rayons laser UV pénètrent peu dans l'œil : les pathologies oculaires associées résultent de lésions dans sa partie antérieure, notamment, la conjonctive, la cornée et le cristallin.

Les effets aigus douloureux consécutifs à une exposition aux rayons laser UV peuvent apparaître très rapidement (photokératite et photoconjonctivite), mais sont réversibles.

Les effets chroniques du rayonnement laser UV peuvent favoriser la formation d'une cataracte

entraînant une déficience visuelle irréversible et invalidante (possibilité de traitement chirurgical).

La gravité des lésions augmente avec le temps d'exposition.

Les rayonnements visibles sont focalisés sur la rétine. Les risques d'une exposition sont donc des lésions et brûlures rétinienes. Néanmoins, la durée d'exposition est limitée par les réflexes naturels d'évitement et de fermeture des yeux (réflexe palpébral).

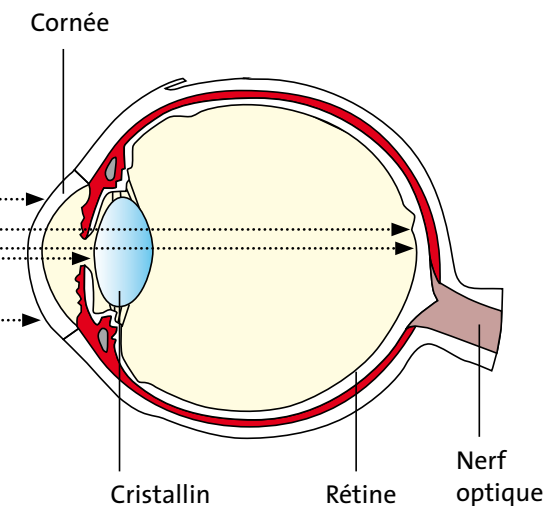
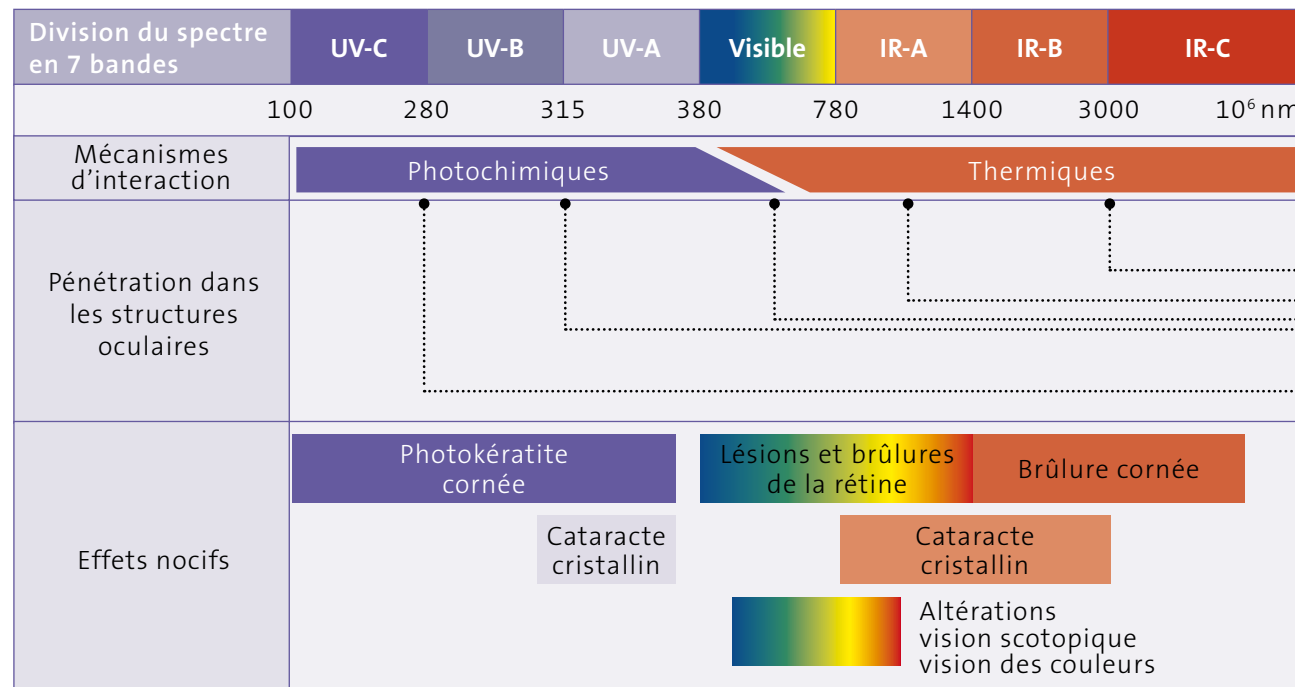


Figure 14 Pénétration et effets des rayonnements optiques dans l'œil en fonction de la longueur d'onde

6.2. Le risque cutané

6.2.1. Structures de la peau

La peau joue plusieurs rôles fondamentaux dont celui de protection vis-à-vis de l'extérieur, de régulation thermique, de synthèse hormonale et possède également une fonction immunitaire. Elle est constituée de trois couches superposées que sont l'épiderme en renouvellement permanent, le derme et l'hypoderme qui assurent la charpente fibreuse.

6.2.2. Effets des rayonnements optiques sur la peau

Les effets sont principalement thermiques et photochimiques et sont fonction de :

- la surface stimulée ;
- la région du corps exposée ;
- la vascularisation ;
- la pigmentation.

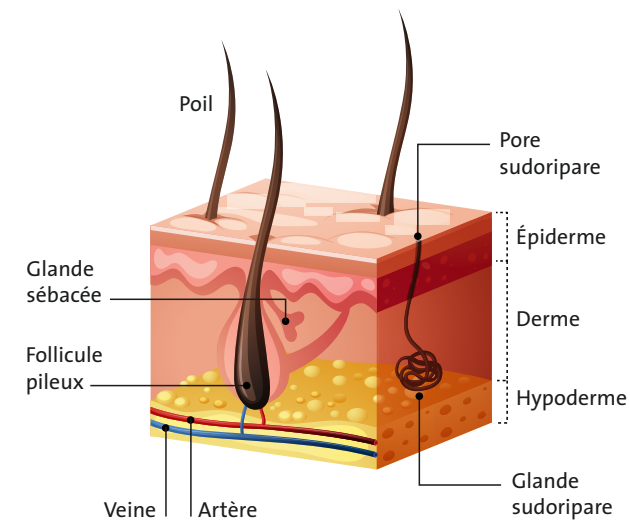
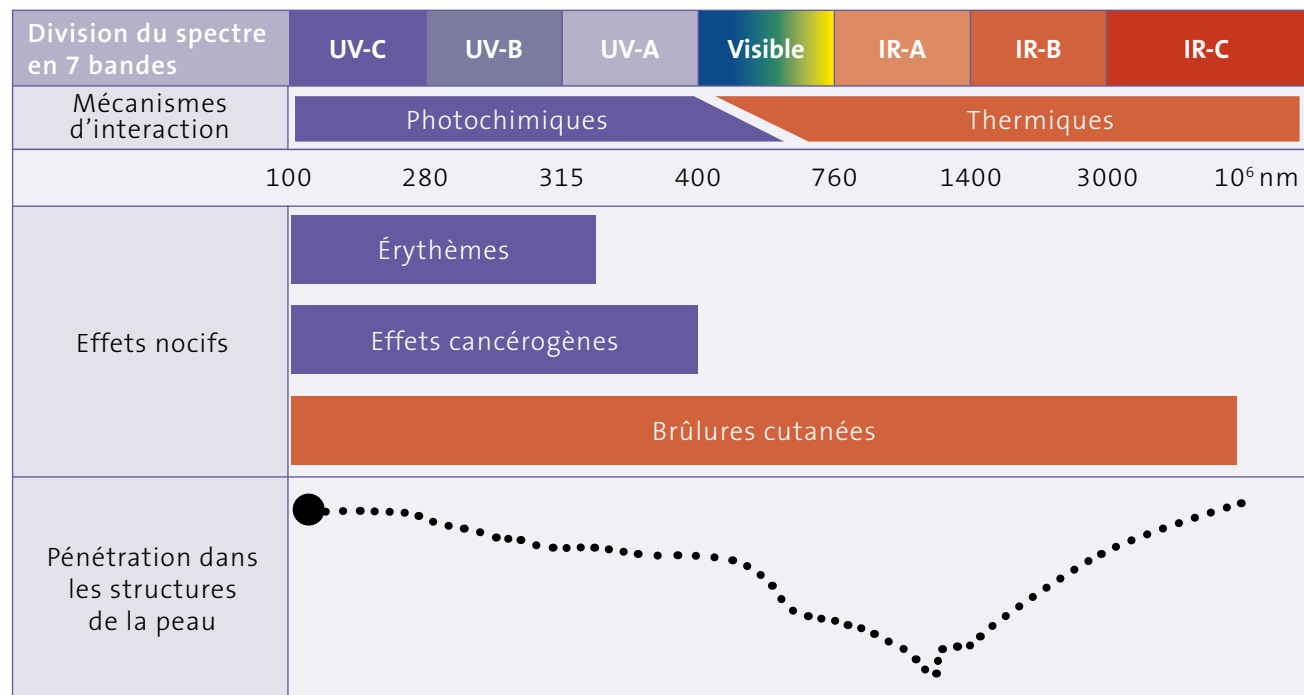
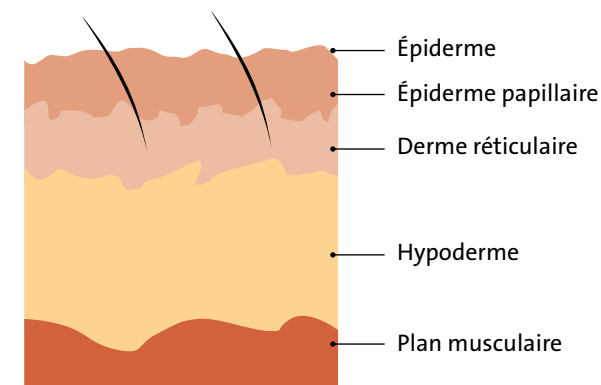


Figure 15 Les structures de la peau



Source : INRS

Figure 16 Effets des rayonnements optiques sur la peau



En cas d'exposition accidentelle, les effets induits varient d'un érythème bénin (rougeur de la peau) à la phlyctène (ampoule ou cloque) quelle que soit la longueur d'onde.

Les rayonnements IR et visibles sont moins dangereux pour la peau que les UV, car :

- ils sont ressentis par le corps humain sous forme d'échauffement lié à l'élévation de la température des tissus exposés, plus rapidement que ne sont ressentis les effets des UV ;
- leur longueur d'onde étant plus élevée, ils sont sans impact sur les structures cellulaires et ne provoquent donc pas de cancer.

Néanmoins, les rayonnements IR et visibles peuvent induire un fort effet thermique : ils pénètrent la peau plus en profondeur que les UV, créent une vasodilatation et transmettent leur énergie aux tissus du derme, entraînant des brûlures.

Une exposition prolongée aux UV entraîne des conséquences dermatologiques immédiates au niveau de l'épiderme (apparition d'érythèmes) ou chroniques (survenue possible de cancer de la peau).

6.3. Les risques liés aux interactions faisceau/cible

6.3.1. Incendie

Comme précisé dans leur définition, tout faisceau de laser de classes 3B et 4 présente un risque d'incendie. Pour les lasers de classe 4, ce risque persiste même en cas de réflexions diffuses.

Ce risque doit donc être pris en considération lors de la conception et de l'aménagement des locaux dans lesquels sont mis en œuvre des lasers (quelle que soit la classe) :

- mise en place de détection ;
- tenue au feu des matériaux ;
- dimensionnement des moyens de lutte contre l'incendie.

6.3.2. Rayonnements ionisants

L'utilisation de lasers scientifiques à impulsions courtes peut conduire, après focalisation, à des niveaux d'éclairement importants, de l'ordre de 10^{20} W/cm² et au-delà. L'interaction d'une telle impulsion laser avec une cible peut entraîner la production de rayonnements ionisants. Cette émission est d'autant plus forte que :

- la cible est constituée d'atomes lourds ;
- la durée de l'impulsion est courte ;
- l'énergie est élevée.

Le rayonnement ionisant produit doit être évalué pour dimensionner les protections à mettre en place : zonage, blindage autour de la cible, écrans de plomb ou de béton.

Les protections visent à abaisser l'exposition sous la dose limite d'exposition pour le public de 1 mSv/an. La salle devient alors une zone contrôlée intermittente, avec la signalétique appropriée, un contrôle d'accès et une dosimétrie d'ambiance.

Une autorisation d'exploiter l'installation doit être obtenue auprès de l'autorité de sûreté nucléaire (ASN).

Si nécessaire, se reporter au cahier de prévention du CNRS traitant de la **radioprotection**.



7. La prévention des risques liés au faisceau

7.1. Les moyens organisationnels

Au CNRS, l'ensemble des aspects organisationnels est résumé sous forme d'un logigramme dans la **fiche 1**. Ce document renvoie à un ensemble de modèles et outils à la fois présentés dans ce cahier de prévention mais également regroupés dans un kit conçu par le CNRS, appelé « kit ROA ». Ce kit est accessible aux assistants de prévention (AP) et RSL via les IRPS.

7.1.1. Référent sécurité laser (RSL)

Le directeur d'unité doit nommer au sein de son unité au moins un référent sécurité laser dès lors que les personnels sont susceptibles d'être exposés à des rayonnements laser dépassant les valeurs limites d'exposition. Le RSL exerce sous son autorité les missions suivantes définies réglementairement :

- Participer aux évaluations des risques exposant les personnes intervenant à proximité d'appareils à laser et à la mise à jour du document unique d'évaluation des risques professionnels.
- Participer à la mise en œuvre de toutes les mesures propres à assurer la santé et

la sécurité des travailleurs intervenant à proximité d'appareils à laser, notamment le dimensionnement des équipements de protection collective et individuelle ainsi que lors de la conception ou la modification de postes de travail.

- Participer à l'amélioration continue de la prévention des risques à partir de l'analyse des situations de travail.

Dans la pratique, l'utilisation de lasers de classe supérieure ou égale à la 3R implique un dépassement des VLE en cas d'exposition et justifie la nomination d'un RSL dont les missions réglementaires se déclinent ainsi :

- Tenir à jour l'inventaire du parc lasers et tenir à disposition les informations sur leurs dangers.
- Proposer les mesures de prévention, dont les consignes de sécurité, en lien avec les responsables des manipulations.
- Former les nouveaux personnels et animer la sensibilisation sur la sécurité laser au moins une fois par an, en lien avec les assistants de prévention de la structure.
- Tenir à jour la liste des personnes habilitées.
- Calculer, si nécessaire, les valeurs d'exposition au poste de travail et les valeurs limites réglementaires, et les comparer entre elles.
- Calculer la distance nominale de danger oculaire si nécessaire.

- Déterminer les échelons des lunettes de protection et de réglage.
- Accompagner les personnels concernés pour la réalisation annuelle de leur fiche individuelle d'exposition aux rayonnements optiques artificiels.
- Procéder à l'analyse des accidents mettant en cause un appareil à laser, en lien avec l'assistant de prévention.
- Organiser la gestion des situations accidentelles, en lien avec l'assistant de prévention.

Pour assurer ces missions, le RSL doit être aguerri aux problématiques laser et présenter un profil scientifique compatible avec cette mission.

Une formation relative à la prévention du risque laser est proposée au RSL préalablement à sa prise de fonction (**Paragraphe 7.3.1.**).

Le directeur d'unité adresse une lettre de mission au RSL (**Annexe 2**) pour formaliser sa prise de fonction. Cette lettre précise ses missions et les moyens mis à sa disposition.

Les **fiches 2 et 3** proposent aux RSL respectivement un modèle d'inventaire du parc lasers avec leurs principales caractéristiques et une grille d'évaluation de la mise en œuvre de la sécurité laser dans l'unité. Elles sont également disponibles en format modifiable dans le « kit ROA » du CNRS. Leur réalisation constitue un préalable à l'organisation des unités en matière de prévention du risque laser.

7.1.2. Habilitation

Les personnes susceptibles d'être exposées à des rayonnements optiques artificiels pouvant dépasser les VLE doivent être identifiées, avoir bénéficié d'une formation aux risques et faire l'objet d'un suivi médical adapté.

À cette fin, le directeur d'unité doit mettre en place des habilitations au risque laser délivrées après que la formation mise en place en interne par le RSL ait été suivie, et précisant :

- le champ d'application géographique (liste des installations couvertes par l'habilitation) ;
- les types d'interventions autorisées ;
- la durée de validité (recommandée à 3 ans).

La **fiche 8** propose un modèle pour la tenue d'une liste des personnes habilitées.

7.1.3. Notice de poste

La notice de poste est un document simplifié regroupant les informations concernant le risque présent en fonction du type d'activité (réglage, alignement, exploitation...) ainsi que le détail des mesures de prévention prévues (**Fiche 11**).

Elle est mise en place pour chaque poste de travail et doit comporter au minimum :

- les caractéristiques du faisceau (classe, VLE, DNRO, énergie/puissance, cadence, durée d'impulsion...),
- les caractéristiques des EPI adaptés et leur lieu de stockage,
- les autres risques présents,

NOTICE DE POSTE
Indiquer le nom de l'installation - Salle XXX

Caractéristiques LASER					
Classe					
Longueur d'onde (nm)					
Mode (D / I / R / M)					
Puissance / VLE					

Risque laser au poste de travail

Indiquer précisément la nature du(s) risque(s) et préciser les mesures à prendre, lorsque s'y a exposition au risque.

Risques associés

Indiquer succinctement la nature du(s) danger(s) et la prise de précaution (sans être exhaustive) :

- Risque chimique (préciser le ou les produits chimiques)
- Risque électrique (préciser l'équipement, la source et l'intensité)
- Risque d'incendie (préciser la source possible)
- Risque de rayonnement ionisant (préciser le dosage)
- Risque lié au bruit (préciser la source)
- Risque d'asphyxie (préciser la source)
- Risque de brûlure chaud / froid (préciser la source)

Consignes de sécurité à respecter

Indiquer, en mode opératoire précis à suivre, les équipements de protection individuelle (en particulier le modèle de lunettes de sécurité laser) ou collective, les paramètres à surveiller, des interventions à respecter, les matériels à utiliser (optiques ou type d'opérations)...

Nom : Responsable sécurité laser (nom, signature) Responsable prévention (nom, signature) Responsable de l'installation (nom, signature) Directeur d'unité (nom, signature)

- les coordonnées des personnes en charge de l'installation (DU, responsable de l'équipement, AP, RSL).

Ce document, réglementairement obligatoire, permet de synthétiser les informations de sécurité d'une installation et constitue un

support pratique lors des formations des nouveaux entrants.

Dans le cas d'une installation de recherche, il peut être difficile de disposer à chaque poste de travail d'une notice de poste. Il est cependant nécessaire, au minimum, de réaliser une fiche traitant du faisceau « primaire » sortant de la cavité. Cette fiche synthétique doit également prendre en compte des situations présentant un risque différent de celui du faisceau primaire (diminution de diamètre, refocalisation) ou à l'occasion d'un changement de longueur d'onde.

7.1.4. Notice de salle

Lorsqu'une salle comporte plusieurs installations, afin de simplifier la démarche, il est recommandé de regrouper dans une notice de salle (**Fiche 12**) l'ensemble des consignes communes à toutes ces installations, telles que :

- les tenues de travail (port de la blouse, absence de bijoux...),
- la signification de l'ensemble des signalétiques lumineuses,
- la liste des personnes habilitées à entrer,
- les coordonnées des personnes en charge du local.

Ce document peut également servir de support de formation pour les nouveaux entrants.

 Procédure de sécurité Référence : E-compléter
Mise à jour : E-compléter

NOTICE DE SALLE

Indiquer le nom du local - Salle XXX

Risques présents					
<small>Sélectionner les risques présents dans le local (Là où non encocher)</small>					
					
					

Accès réservé aux personnels habilités <small>(A compléter)</small>		
	<small>Pierre DURAND</small>	
	<small>Marc DUPONT</small>	
	<small>Cécile BOUTIN</small>	

Conduite à tenir (signalisation)*		
	Accès interdit	
	Accès limité : LASER en fonctionnement non protégé.	Encocher le modèle des boîtes de sécurité à porter
	Accès limité : LASER en fonctionnement protégé.	Encocher le modèle des boîtes de sécurité à porter
	Accès libre : LASER éteint.	

* Ces recommandations sont valables à l'usage et à l'usage de la signalisation recommandée pour la salle

Date: Référent sécurité laser (nom, signature) Assistant de prévention (nom, signature) Directeur d'unité (nom, signature)

7.1.5. Procédure de mise en marche

Avant d'activer l'émission du faisceau laser, l'opérateur doit successivement :

- 1 s'assurer de la présence des EPI dans le sas d'entrée,
- 2 porter les EPI adaptés,
- 3 vérifier l'absence de personnes non protégées dans le local,

- 4 prévenir les personnes présentes de l'activation imminente du faisceau,
- 5 signaler la présence du risque laser en actionnant le voyant lumineux (automatique en cas d'asservissement).

Si pour des raisons d'exploitation, le temps de chauffe d'un appareil à laser est important, sa mise sous tension peut être anticipée et dissociée de l'émission laser en utilisant un obturateur de sécurité empêchant ainsi l'émission du faisceau. Dans ces conditions, il n'y a pas de risque d'exposition. Le risque laser peut alors n'être signalé qu'au moment de l'ouverture de l'obturateur.

7.1.6. FIEROA

Chaque personne autorisée et susceptible d'être exposée à des rayonnements laser doit disposer d'une fiche individuelle d'exposition aux rayonnements optiques artificiels (FIEROA). Elle doit être mise à jour en cas de modification des installations et/ou de la nature de l'activité, et obligatoirement avant chaque visite médicale. Cette fiche intègre les situations d'exposition en conditions normales d'utilisation ainsi que les éventuelles expositions accidentelles.

La personne exposée complète ce document réglementaire en lien avec le référent sécurité laser, puis le transmet au directeur d'unité pour validation et signature. L'original est archivé dans son dossier administratif.

La **fiche 9** présente un modèle de FIEROA.

7.1.7. Prévention lors des opérations de maintenance

Les opérations de maintenance réalisées par des entreprises extérieures nécessitent la rédaction d'un plan de prévention dont l'objectif est de faire apparaître les risques liés à la co-activité (risques liés à l'environnement existant et spécifiques à la maintenance) et les moyens de prévention à mettre en œuvre (étendue de la zone laser, restriction d'accès, EPI adaptés...).

Sans être formalisée par le plan de prévention, la même démarche doit être menée lorsque les opérations de maintenance sont réalisées en interne.

Un point de vigilance est à apporter aux appareils à laser de classe 1, tels que : appareils à cytométrie de flux (FACS), spectromètres RAMAN... De par leur conception, ces équipements ne présentent aucun risque d'exposition au faisceau qu'ils renferment. Il est recommandé de faire appel à des sociétés extérieures pour réaliser la maintenance de ces équipements. Dans le cas d'une maintenance réalisée en interne, le recours à des compétences de type RSL est nécessaire.

Dans tous les cas, durant une opération de maintenance, des EPI adaptés doivent être disponibles et l'accès au local restreint.

En complément des différents moyens de prévention présentés dans ce chapitre, la **fiche 10** récapitule l'ensemble des bonnes pratiques de laboratoire relatives à la prévention du risque laser.

7.2. Les moyens techniques

La première étape de prévention est la délimitation d'une zone laser, dite ZNRO (**Sous-chapitre 4.3.**), à l'intérieur de laquelle l'opérateur est susceptible d'être exposé à un éclairement supérieur aux VLE pour l'œil.

Pour les appareils à laser de classe 3R, 3B et 4, la ZNRO peut être très étendue. Ils doivent donc être installés dans une zone dédiée appelée local laser, excepté les lasers utilisés spécifiquement en extérieur.

Pour les appareils à lasers de classe 1 et 1C intégrant un laser de classe supérieure, la sécurité est assurée par la conception de l'appareil en condition normale d'utilisation. Ces équipements peuvent être utilisés sans contrainte particulière.

7.2.1. Le local laser

Ce local peut consister en une pièce ou une aire délimitée par des cloisons, fixes ou mobiles (cabine, enceinte de protection...). Il est considéré comme une zone à accès réservé au personnel habilité par le directeur d'unité.



Figure 17 Appareil à laser émettant à 193 nm dans son enceinte de protection en plexiglas (filtrage des UV)

REMARQUES

- Une paroi ou une cloison mobile fait partie intégrante des moyens de prévention et ne doit être déplacée que pour des opérations prévues avec mise en place de mesures compensatoires si nécessaire.
- Un appareil à laser peut être installé dans une enceinte jouant le rôle d'équipement de protection collective. Lorsque cette enceinte comporte des parois transparentes, celles-ci doivent être conformes à la norme NF EN 12254*. L'enceinte de protection dispose également d'une signalétique lumineuse (voir photo ci-contre) pour son fonctionnement en condition normale d'utilisation. Une seconde signalétique lumineuse doit être installée à l'entrée du local où est installé l'appareil à laser. Elle permet d'étendre la signalisation du danger au local entier lors des étapes de maintenance et de réglage durant lesquelles l'enceinte est rendue inopérante par retrait d'un ou plusieurs protecteurs.

* L'application LISA du CNRS propose un calcul du niveau de protection des écrans selon la norme NF EN 12254.

Signalétique

Une signalétique adaptée doit être mise en place, indiquant la présence d'un laser et son niveau de risque.

À chaque accès du local, cette signalétique doit être clairement visible et lisible. Elle comprend :

- Le pictogramme « risque laser ».



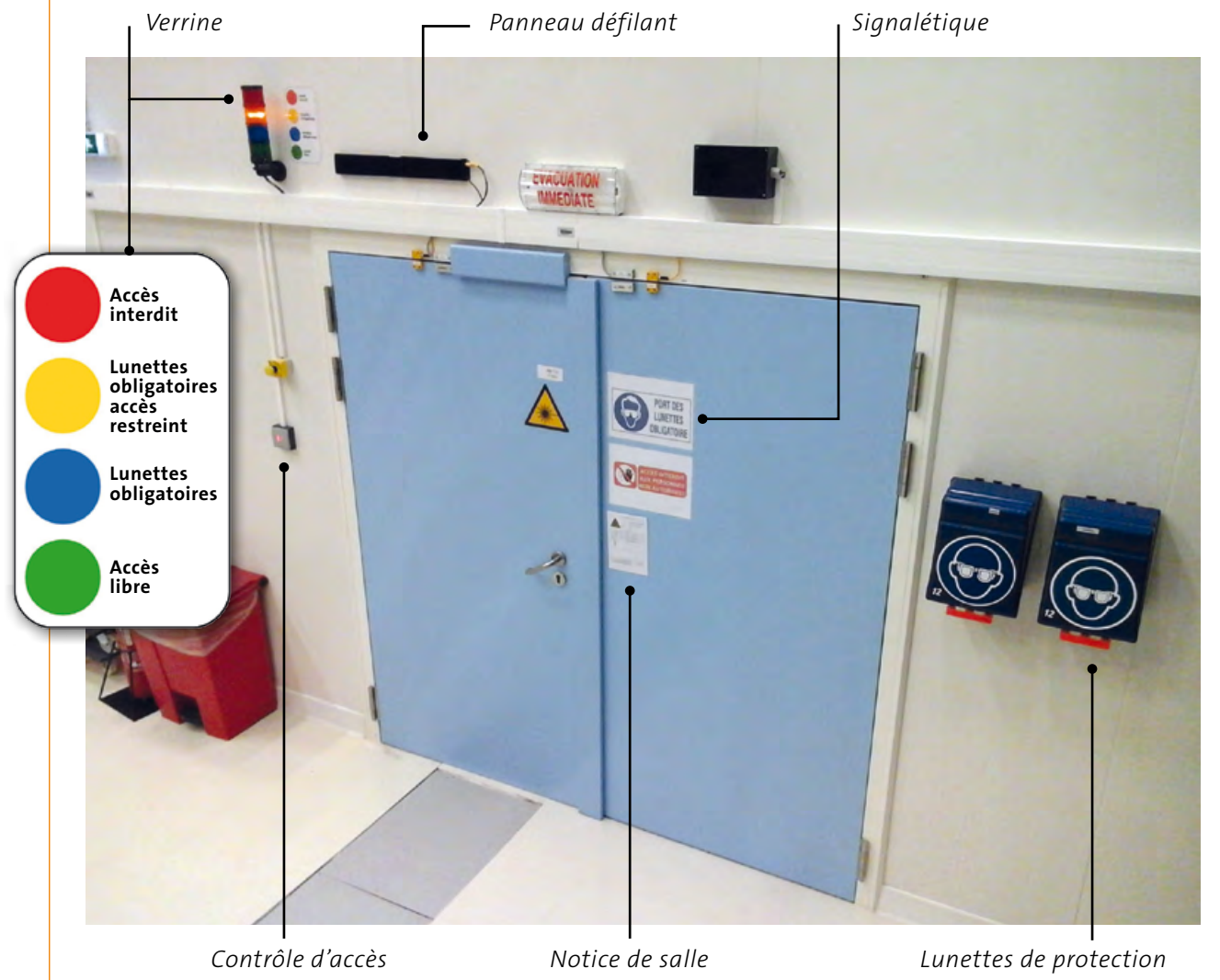
- Un voyant lumineux, clignotant ou non, apposé de manière visible, avertissant de la mise en route d'un laser dans le local. Il peut être complété par l'émission d'un signal sonore. Si une installation comporte plusieurs lasers de classe 3B ou 4, le voyant lumineux doit être activé dès qu'une des sources est sous tension (condensateur de l'alimentation électrique inclus). Quand cela est possible, il est recommandé d'asservir le voyant lumineux à l'alimentation du laser.

Ces voyants peuvent également être remplacés par des verrines lumineuses (ou colonnes lumineuses). Composées de plusieurs voyants, elles permettent d'informer plus précisément sur la nature du risque en fonction de l'utilisation du laser. La signification de chaque couleur de verrine doit être précisée* et il est conseillé de l'harmoniser pour l'ensemble de l'unité.

* S'assurer de la bonne compréhension des codes couleurs pour les personnes dyschromates.

► Exemple 1

Solution technique avec contrôle d'accès et voyants lumineux indiquant la conduite à tenir.



► Exemple 2

Solution organisationnelle (voyant simple, communication orale, sas d'accès aux lunettes de protection)

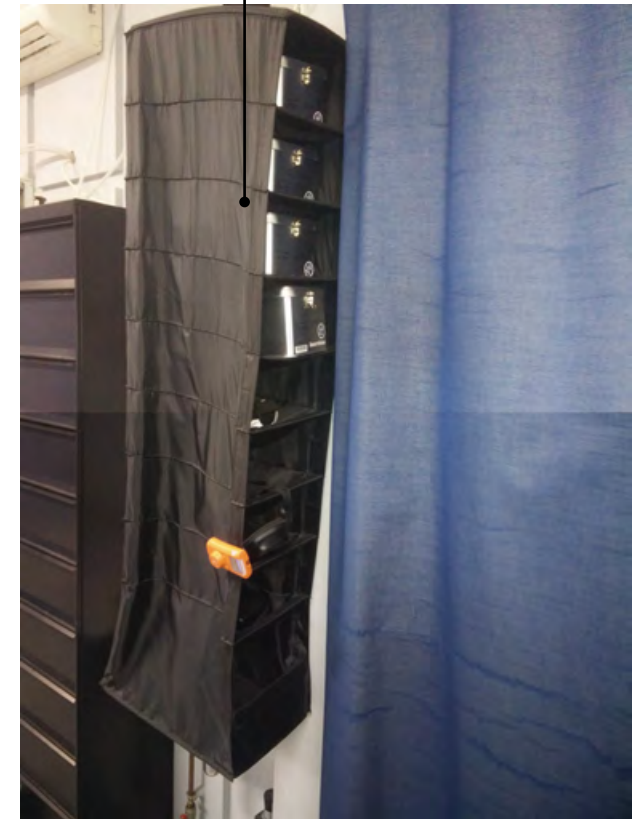
Voyant



Rideau occultant de résistance au feu de classe M1 délimitant le sas



Mise à disposition des lunettes de protection



Trois lasers femtoseconde dont un accordable (4 longueurs d'onde différentes) sont installés dans ce local laser. Lorsque le voyant lumineux est allumé, tout visiteur doit se signaler. Après autorisation d'entrer, le visiteur s'informe du modèle de lunettes de sécurité à porter. Elles sont accessibles dans le sas.

- Une instruction explicitant le fonctionnement de ce(s) voyant(s) et indiquant les règles d'accès et les EPI à utiliser, tels que définis dans la notice de poste (**Paragraphe 7.1.3.**).

À l'intérieur du local, la présence du risque peut être rappelée par une signalétique identique complétée par une notice de salle à l'entrée de la salle (**Paragraphe 7.1.4.**) et par des notices de poste (**Paragraphe 7.1.3.**) au poste de travail.

Accès au local

- La restriction d'accès peut se faire par badge, par serrure (à clé ou à code) ou par l'affichage de la liste des personnes habilitées.
- Il est recommandé de mettre en place des moyens de communication.
- Lorsqu'un laser est en marche, l'accès au local ne peut se faire qu'après autorisation des personnes présentes dans le local.
- En fonction de l'évaluation des risques, un sas d'entrée doit être intégré dès la conception du local. À défaut, il peut être constitué de panneaux ou de rideaux opaques, conformes à la norme NF EN 12254 et, pour les lasers de classe 4, non inflammables**. De plus, le sas présente l'avantage de pouvoir y entreposer les EPI adaptés.

Ce sas permet à toute personne souhaitant accéder au local, d'attendre une autorisation d'entrer, évitant ainsi tout risque d'exposition accidentelle.

Des dispositifs d'arrêts d'urgence peuvent y être installés.

Les différents types de sas et la signalétique associée

- Le sas est un rideau ou un panneau : il fait partie du local laser → signalétique à l'entrée du local laser.
- Le sas est un local (au sens immobilier) donnant accès à un local laser : le sas fait partie intégrante du local laser → signalétique à l'entrée du sas.
- Le sas est un local (au sens immobilier) donnant accès à plusieurs locaux laser : il dessert ces locaux laser sans toutefois en faire partie → signalétique sur chacune des portes d'accès aux locaux laser.

Organisation du local

- L'éclairage ambiant doit être le plus élevé possible (minimum 500 lux) :
 - pour réduire la taille de la pupille des personnels présents et donc réduire la probabilité de recueillir un faisceau ou partie de faisceau dans les yeux,
 - pour maintenir une vision suffisante à travers les lunettes de sécurité.

- Pour les situations nécessitant de travailler dans le noir, les utilisateurs doivent avoir à disposition des lampes torches ou frontales et des éclairages d'appoints.
- Les revêtements des murs et cloisons doivent être non réfléchissants, mats et, notamment pour les lasers de classe 4, non inflammables**. Les surfaces réfléchissantes (posters, tableaux blancs...) sont à proscrire.
- Le local choisi doit être, de préférence, dépourvu de fenêtre ; dans le cas contraire, elles doivent être occultées par des matériaux conformes à la norme NF EN 12254 et, pour les lasers de classe 4, non inflammables**.
- Les zones de circulation doivent être au minimum de 80 cm de large. Elles doivent rester dégagées afin d'éviter tout risque de chute. Le passage des câbles et des tuyaux doit être agencé de manière à ne pas entraver les circulations, à l'aide de faux-planchers, faux-plafonds, chemins de câbles...
- Le passage du faisceau dans les zones de circulation est proscrit.
- Cas du transport de faisceau par fibre optique : la fibre doit être protégée de toute dégradation accidentelle par une gaine métallique ou un tube rigide. Le cheminement ne doit pas générer d'autre risque (notamment chute). Chaque sortie de fibre est une nouvelle source laser qui doit faire l'objet d'une évaluation des risques. Lorsque la sortie est placée dans un autre local, ce dernier devient également un local laser.

** Résistance au feu de classe M1 selon la norme NF P92-507



7.2.2. Conception du dispositif expérimental

Choix de la source

Afin d'éviter une exposition inutile, les caractéristiques du laser retenu doivent être adaptées à l'expérience.

La détermination des moyens de protection

collective et/ou individuelle adaptés à la future installation s'impose dès le projet d'achat et de conception.

Implantation de l'installation

- Le trajet du faisceau doit être connu et anticipé.
- Il ne doit pas être dirigé directement vers une porte ou une fenêtre.

- Il est préférable de garder le faisceau dans un plan horizontal, en évitant les changements de hauteur (risque de fuite de faisceau laser vers le haut).
- Les dimensions de la table ainsi que l'espace de circulation autour de la table doivent permettre un accès facile aux composants optiques et instruments les plus éloignés.
- Le poste de travail (poste informatique, table de préparation, paillasse...) est de préférence abrité derrière un écran ou un rideau conformes à la norme NF EN 12254. Dans tous les cas, sa hauteur est choisie pour ne pas placer les yeux de l'opérateur à hauteur du faisceau (utilisation de siège haut, de table haute...)
- Les écrans de contrôle, lecteurs des instruments et oscilloscopes sont installés en hauteur, et non sur la table optique.
- Les parties susceptibles d'arrêter le faisceau doivent pouvoir résister à une exposition accidentelle sans fondre ni dégager de fumée.

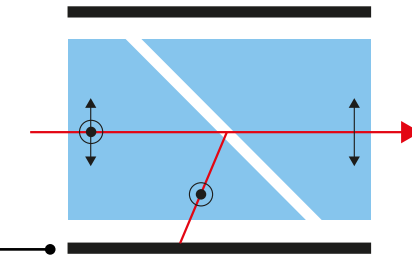
Parcours du faisceau

Il doit être parfaitement connu et si possible matérialisé. Pour cela :

- Les fuites résiduelles ainsi que les réflexions involontaires sont repérées et autant que possible bloquées par un absorbeur. La tenue au flux des composants optiques est adaptée à l'énergie ou la puissance utilisée.
- Les supports d'optiques sont, si possible, non-réfléchissants (noirs) et toujours fixés sur la table.

- Les éléments séparateurs de faisceau (polariseur, prisme biréfringent, composant diffractif...) font l'objet d'une attention particulière : en effet, le faisceau peut être transmis et/ou réfléchi dans des directions non souhaitées. Les différents trajets doivent être pris en compte.

Un même laser peut exposer à plusieurs longueurs d'onde simultanément. Dans ce cas, les équipements de protection doivent tenir compte du risque d'exposition à l'ensemble des sources.



Bague de blocage de la polarisation réfléchie

Figure 19 Polariseur Glan-Taylor



Figure 18 Séparation de faisceaux par polarisation

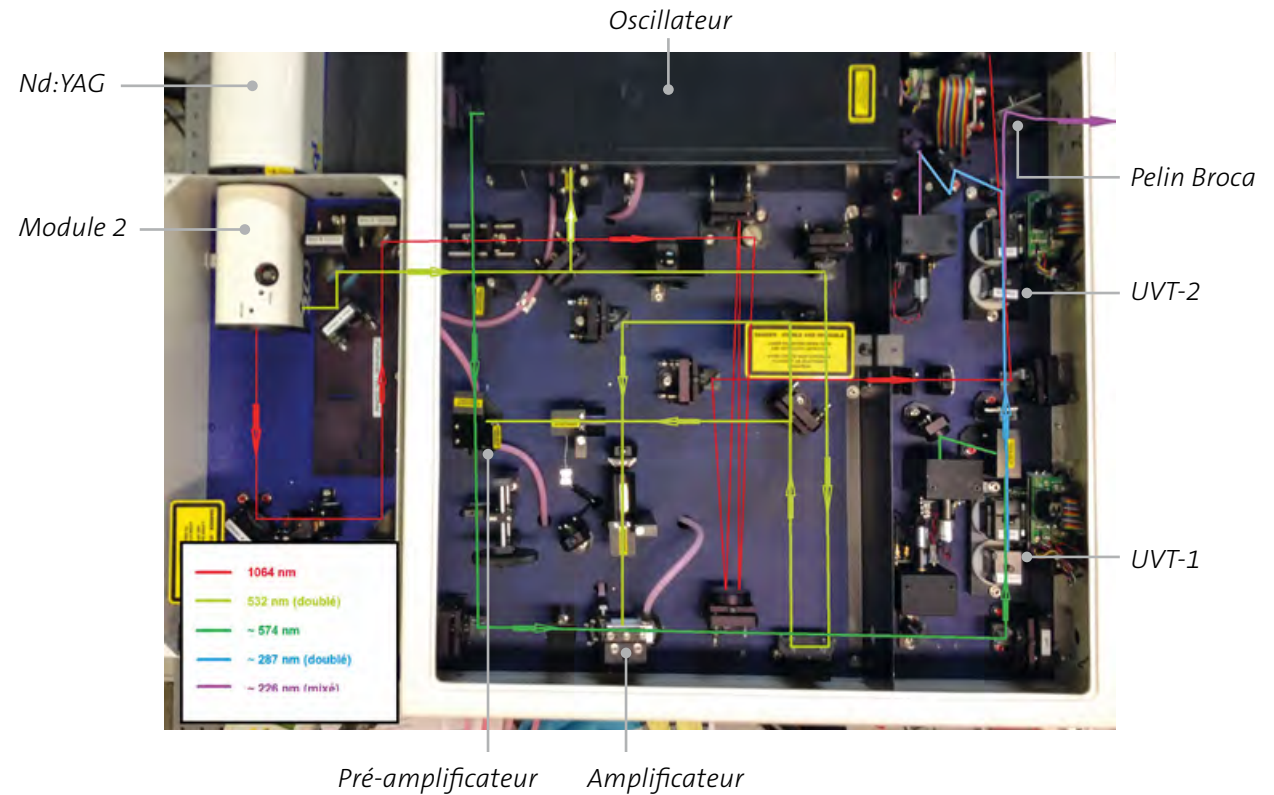


Figure 20 Intérieur d'un laser à colorant, faisant apparaître la multiplicité des longueurs d'onde mises en œuvre en vue d'obtenir un faisceau à 226 nm

Focus sur la visualisation des faisceaux

Les faisceaux infrarouges et ultraviolets ainsi que les faisceaux du domaine visible mais rendus invisibles par le port des lunettes, peuvent être visualisés par :

- UNE CARTE DE VISUALISATION



Figure 21 Cartes de visualisation

- UN VISEUR « INFRAROUGE »



Figure 22
Viseur « infrarouge »

Il permet de visualiser rapidement la position de l'impact du faisceau et est utile pour mettre en évidence les fuites et les réflexions involontaires mais ne doit pas être utilisé dans l'axe du faisceau.

- UNE CAMÉRA



Attention, elles peuvent réfléchir légèrement le faisceau et doivent donc toujours être orientées vers le bas.



Figure 23 Système de visualisation déporté

L'utilisation de caméras permet une visualisation précise du faisceau et garantit une sécurité optimale.

La superposition du faisceau d'un laser visible d'alignement de classe 2 à celui d'un laser de puissance invisible permet un alignement facile et sans protection, sans avoir à mettre en œuvre le laser de puissance.

Fixation des optiques et des supports

Les optiques doivent être fixés à leur support et ce dernier doit être stable et fixé à la table. Les supports inutilisés sont retirés du trajet du faisceau. Les tables optiques sont dégagées des outils de montage.

Lorsqu'un composant est mis en place, le premier alignement doit être effectué à énergie réduite. Une fois sa position bien définie, il est fixé correctement, puis peut être utilisé aux paramètres nominaux.

Gestion de la fin de faisceau

Le faisceau n'est pas nécessairement arrêté totalement par une cible. Il peut être partiellement filtré, dévié, réfléchi, transmis. Les faisceaux résiduels doivent être stoppés par un bloqueur qui résiste durablement au flux laser. Ce peut être une simple plaque métallique anodisée noire, un diffuseur, un système à réflexions multiples, un verre absorbant refroidi par circulation d'eau.

Les faisceaux résiduels ne doivent pas se propager librement à travers le local. En particulier, ni les murs ni les cloisons ne doivent être utilisés comme bloqueurs de faisceau.



Bloqueur refroidi à eau (cône)



Bloqueur de faisceau par réflexions multiples (piège)



Bloqueur refroidi à eau (verre absorbant)

Figure 24 Exemples de bloqueurs de faisceau

Alignement et maintenance

Dans les phases d'alignement ou lors des opérations de maintenance (**Paragraphe 7.1.7.**), le risque d'exposition est accru: capots de protection ouverts, plusieurs longueurs d'onde. S'ils existent, des EPI adaptés à ces situations de travail doivent être disponibles. Dans le cas contraire, des mesures compensatoires doivent être prises.

Dans les conditions normales d'exploitation, il est conseillé d'utiliser des réglages manuels déportés, des supports motorisés et des caméras. Tout en réduisant le risque d'exposition, cette disposition rend l'alignement plus confortable et les réglages plus précis.

Capotage et tubage

Le capotage du faisceau laser permet de limiter l'exposition à la source. Sa conception doit être concertée avec les utilisateurs pour prendre en compte l'accès aux éléments optiques, la fréquence des maintenances et les possibilités matérielles.

La solution retenue ne doit pas engendrer de nouveaux risques (choc, coupure, pincement...).

Si le faisceau se propage entre plusieurs tables, il doit être protégé dans son parcours libre par un tubage, fixe ou amovible.

Si le faisceau change de hauteur à l'aide d'un périscope (ascenseur de faisceau), il est également nécessaire de capoter ce dernier.



Figure 25 Exemple de capotage

Outre la fonction de sécurité, le capotage permet de limiter les désalignements accidentels, d'améliorer la propreté des optiques et de limiter les turbulences.

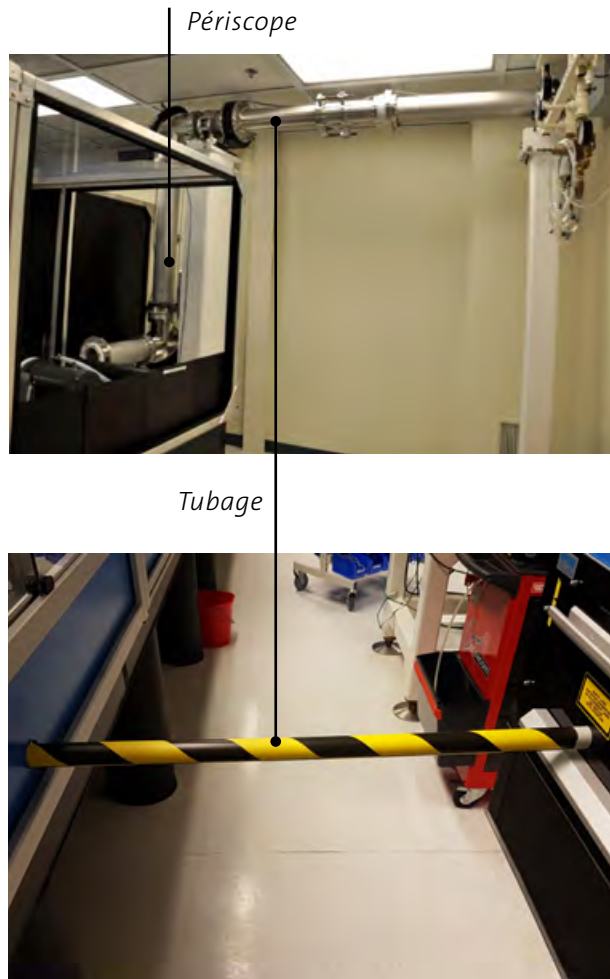


Figure 26 Exemples de tubage et de périscope

Protecteurs pour lasers Normes NF EN 12254 et NF EN 60825-4 : différences et applicabilité ?

La norme NF EN 12254 (Écrans pour poste de travail au laser - Exigences et essais de sécurité) est une norme **à destination des utilisateurs** pour la conception des protecteurs passifs uniquement (écrans rigides et flexibles). Le niveau de protection repose sur des numéros d'échelon (de AB1 à AB10) correspondant à une densité optique. Cette norme s'applique pour les installations dont la puissance moyenne maximale est de 100 W ou dont l'énergie maximale d'impulsion est de 30 J dans le domaine spectral de 180 nm à 10^6 nm (1 mm). La certification NF EN 12254 est réalisée par un organisme agréé.

La norme NF EN 60825-4 (Sécurité des appareils à laser - Partie 4 : protecteurs pour lasers) est une norme **à destination des fabricants** pour la conception des protecteurs actifs (tout équipement qui repose sur le fonctionnement tel qu'un système de commande, un interlock...)

et des protecteurs passifs (panneau, capot, fenêtre d'observation...), tous les deux destinés à être intégrés dans les appareils à laser mais également à protéger le poste de travail au niveau du faisceau sortant. Le niveau de protection est présenté comme un temps maximal d'exposition correspondant à la limite d'exposition protégée (LEP ou PEL), fonction de l'énergie du flux et des caractéristiques de tenue aux flux du protecteur. Par exemple : PEL (T3) de 10 s pour 150 MW/m² sur une surface de 4 mm². Il n'existe pas de limite supérieure à la notion de résistance aux flux. Par exemple, un bloc de béton pourrait être certifié par le fabricant selon cette norme.

RECOMMANDATION POUR LES PROTECTEURS PASSIFS : au-delà de 100 W ou 30 J, la norme NF EN 12254 ne s'applique plus. L'alternative est de se tourner vers la norme NF EN 60825-4.

7.2.3. Équipements de protection individuelle : lunettes de sécurité laser

Les lunettes de sécurité laser se divisent en deux catégories, en fonction de l'objectif de filtration souhaité : les lunettes de protection et les lunettes de réglage.

Il n'existe pas de lunettes « universelles » pour se protéger de l'exposition à des émissions laser. Chaque appareil à laser nécessite des lunettes de sécurité appropriées (consulter la documentation de l'équipement qui peut comporter des informations utiles).

De plus, les lunettes de sécurité laser, qu'elles soient de protection ou de réglage, ne protègent en aucun cas d'une vision directe intentionnelle (le faisceau ne doit jamais être regardé directement).

Ces équipements de protection sont donc dimensionnés pour traiter des expositions accidentelles de courtes durées et doivent être portés durant toute la durée du risque d'exposition.

Le choix de ces lunettes est un point critique dans la prévention du risque laser. Les informations fournies par les utilisateurs doivent permettre au RSL de déterminer l'échelon de sécurité normatif à utiliser.

En outre, elles doivent être adaptées à la morphologie de la personne qui les porte. Les lunettes peuvent être utilisées tant que le marquage apposé dessus est lisible et que leur intégrité est conservée. En revanche, les lunettes impactées ou détériorées perdent de leur

efficacité et peuvent laisser passer une partie du rayonnement qu'elles sont censées atténuer : dans ces cas, elles doivent être remplacées.

Marquage des lunettes

Ces lunettes doivent porter le marquage CE, attestant de la conformité de l'ensemble de l'équipement (monture et verre) pour leur mise sur le marché européen.

Elles n'ont pas de date de péremption.

Les informations suivantes se retrouvent sur le verre et/ou la monture :

- type de rayonnement traité
- longueur d'onde traitée
- échelon d'atténuation

REMARQUE

En l'absence de lunettes de sécurité disponibles sur le marché et conformes à la norme française, des lunettes de sécurité répondant à la réglementation américaine peuvent être utilisées, en complément des mesures de protection collectives.

Le calcul des échelons de protection et la signification du marquage sont explicités dans la [fiche 6](#).



Figure 27 Exemples de marquage de lunette de sécurité avec double certification US et CE.

Lunettes de protection

Cette première catégorie de lunettes, la plus répandue, répond à la norme NF EN 207. Le domaine spectral couvert par ce référentiel va de 180 nm à 1 000 µm.

L'atténuation par le filtre ramène l'éclairement à une valeur inférieure à la VLE, c'est-à-dire à une valeur non dangereuse.



REMARQUES

- Pour certaines installations laser couvrant de larges gammes de longueurs d'onde, il n'existe pas de filtre adapté à toute la gamme. Dans ce cas, il faut choisir les lunettes les plus «approchantes» et adapter les protocoles.
- Lorsque la plage spectrale recouvre une large partie du domaine visible, il est difficile de trouver des lunettes de sécurité adaptées offrant une visibilité suffisante et confortable pour l'utilisateur. Lorsque la transmission dans le visible est inférieure à 20 %, une mention particulière est portée sur la notice d'information fournie par le fabricant recommandant d'augmenter en conséquence l'éclairage ambiant du local laser (**Paragraphe 7.2.1.**).

Lunettes de réglage

Les lunettes de réglage répondent à la norme NF EN 208. Elles ne peuvent être utilisées que dans le visible. Elles ramènent l'exposition à un niveau équivalent à celle de la classe 2.

L'application LISA du CNRS propose le calcul du numéro d'échelon des lunettes de protection (NF EN 207) et de réglage (NF EN 208).

7.2.4. Équipements de protection individuelle : gants et vêtements de protection laser

À ce jour, il n'existe pas de procédure certifiée permettant l'évaluation de gants et vêtements de protection laser. Dans le commerce, quelques fournisseurs proposent des gants qui ne reposent que sur de l'auto-certification. De plus, des modèles conçus pour l'utilisation de systèmes de soudage laser portatifs à haute performance sont disponibles dans le commerce, mais ils ne sont pas adaptés pour une utilisation en laboratoire de recherche.

7.3. Les moyens humains

7.3.1. La formation

Les personnels (préventeurs et utilisateurs) concernés par le risque laser (susceptibles d'être exposés à des éclairagements dépassant les VLE) doivent bénéficier d'une formation spécifique, théorique et pratique, et appropriée à leurs activités.

Le référent sécurité laser (**Paragraphe 7.1.1.**), lors de sa prise de fonction, doit bénéficier d'une formation abordant les items suivants :

- le laser (principe de fonctionnement) ;
- les risques liés à l'appareil et au faisceau ;

- la réglementation et les normes traitant de sécurité laser ;
- les définitions et modes de détermination des grandeurs de sécurité laser (principalement VLE, DNRO, échelon de lunettes) ;
- les aspects techniques et organisationnels de la prévention du risque laser en laboratoire de recherche. Une attention particulière doit être apportée à la détermination des EPI/EPC (calculs d'échelon de lunettes de protection) ;
- les conduites à tenir en cas d'accident laser.

L'assistant de prévention dispose d'un module spécifique à la prévention du risque laser lors de sa formation initiale et/ou continue.

Au CNRS, la formation des RSL est d'une durée de 2,5 jours. Le programme est adapté au contexte de la recherche et comprend notamment l'organisation à mettre en place au sein d'une unité de recherche, l'utilisation et l'interprétation des résultats issus de l'application LISA (**Fiche 4**) et la comparaison avec les calculs manuels ainsi qu'une visite d'installation en laboratoire de recherche. Elle est réalisée par 3 intervenants internes : un ingénieur en prévention des risques professionnels, un lasériste responsable d'exploitation d'une importante installation laser et un médecin de prévention.

Les utilisateurs, et notamment les nouveaux entrants, doivent recevoir une formation sur la prévention du risque laser propre à l'unité. Cette formation est mise en place par le RSL, ou à défaut par l'AP qui peut l'animer ou la faire dispenser par les encadrants. Elle doit aborder au minimum les mêmes thèmes que ceux traités à la formation du RSL mais dans de moindres proportions (format allant de 2 à 4 heures). Cette formation interne s'appuie sur les notices de postes mises en place dans l'unité et intègre une visite des installations.

Ces formations doivent faire l'objet d'une traçabilité (programme de formation et émargement).

Un support de formation modifiable est disponible dans le kit ROA du CNRS.

7.3.2. Le suivi médical

Visite médicale d'embauche

Les agents susceptibles de travailler avec des rayonnements laser doivent bénéficier d'une visite médicale avant l'affectation au poste de travail. Elle s'appuie sur la fiche individuelle d'exposition aux rayonnements optiques artificiels (FIEROA) établie sous la responsabilité du directeur d'unité (**Paragraphe 7.1.6.**).

Au CNRS, le médecin de prévention s'appuie également sur la fiche individuelle des risques et conditions de travail (FIRCT), autodéclarative, remplie par l'agent préalablement à la visite médicale pour adapter au mieux la surveillance médicale. Elle apporte cependant moins d'informations quant au niveau d'exposition que la FIEROA réglementaire.

Cette visite est notamment l'occasion de dépister des pathologies pré-existantes pouvant contre-indiquer l'exposition aux lasers, notamment dans le cas des personnes monophthalmes (un seul œil fonctionnel) ou amblyopes (perte d'aptitude visuelle d'un ou des deux yeux).

De même, une attention particulière doit être portée aux personnes atteintes d'opacités cristalliniennes évolutives (par exemple dans le cas d'un diabétique) ainsi qu'aux porteurs d'altérations graves du fond d'œil (anomalies vasculaires, décollement de rétine...).

Par ailleurs, certains éléments de « vulnérabilité » sont à prendre en compte par exemple chez les personnes présentant des migraines de façon chronique ou souffrant d'épilepsie (les lasers pulsés visibles sont susceptibles de déclencher des crises).

Certaines pathologies cutanées ou la prise de médicaments anticoagulants ou photosensibilisants sont également à prendre en compte.

L'examen médical peut être suivi de la réalisation d'examens complémentaires et notamment d'un examen ophtalmologique complet, présentant l'avantage d'avoir une valeur médico-légale.

L'examen ophtalmologique comprend : la détermination de l'acuité visuelle, l'étude du cristallin, l'étude du champ visuel et l'étude de la rétine par l'examen du fond d'œil avec photographie rétinienne.

À l'heure actuelle, les examens les plus pertinents semblent être le fond d'œil associé, selon l'avis de l'ophtalmologue, à une OCT* maculaire (Optical Coherence Tomography).

Surveillance médicale

La surveillance médicale des agents est réalisée régulièrement et sa périodicité ainsi que la réalisation des éventuels examens complémentaires sont définies par le médecin de prévention en se basant sur l'analyse du poste de travail.

Au CNRS, les agents exposés aux lasers de classes 3 et 4 bénéficient d'une surveillance médicale particulière (SMP) annuelle.

* L'OCT est une technique d'imagerie du fond d'œil, rapide, non invasive et non douloureuse qui permet de détecter des lésions dites infra cliniques (sans symptômes associés)

Tout changement des conditions de travail doit être signalé au médecin (par l'intermédiaire de la FIEROA par exemple) afin qu'il adapte son protocole de surveillance.

Le médecin de prévention effectue une surveillance clinique notamment à la recherche d'apparition de troubles visuels, dermatologiques, ou d'autres problèmes médicaux pouvant aggraver les risques liés au laser.

La périodicité des examens complémentaires est à adapter au niveau d'exposition (par exemple, tous les 5 ans en l'absence de symptômes particuliers).

Les visites médicales sont aussi l'occasion d'informer les agents sur les risques liés aux rayonnements optiques artificiels ainsi que sur les mesures de prévention collectives et individuelles à mettre en œuvre.

Par ailleurs, chez tout sujet présentant des troubles subjectifs oculaires et impérativement après toute exposition accidentelle, un examen ophtalmologique doit être assuré le plus rapidement possible.



8. Les risques associés et leur prévention

8.1. Risque électrique

Le fonctionnement du laser nécessite une source électrique pour alimenter les dispositifs de pompage optique ou électrique. Pour les lasers de puissance, il s'agit la plupart du temps de haute tension pouvant s'élever jusqu'à plusieurs kilovolts.

Une attention particulière doit être portée aux lasers impulsions contenant des batteries de condensateurs de fortes capacités qui peuvent conserver la charge longtemps après la mise hors tension de l'alimentation.

Le risque électrique comprend le risque de contact, direct ou non, avec une pièce nue sous tension, le risque de court-circuit, et le risque d'arc électrique. Ses conséquences sont l'électrisation (passage d'un courant électrique dans le corps) voire l'électrocution (entraînant la mort) mais aussi l'incendie, voire l'explosion. Le seuil de dangerosité pour l'homme dépend des niveaux de tension et de courant rencontrés.

Une électrisation peut être plus ou moins grave selon la fréquence, l'intensité, la durée de passage dans le corps du courant mais aussi la surface de la zone de contact, l'état de la peau (sèche, humide, mouillée...) et la nature du sol.

La grande majorité des lasers utilisent des courants élevés allant de 1 à 500 A.

D'une manière générale, les alimentations électriques, de même que les montages expérimentaux, doivent présenter un niveau d'isolement approprié et être réalisés de façon à rendre impossible l'accès aux pièces nues sous tension. Toutes les masses conductrices doivent être reliées à la terre par le conducteur de protection du réseau de distribution. Les règles de conception et d'installation doivent être respectées et les installations doivent être vérifiées périodiquement.

Dans le cas des installations lasers 3B et 4, la prévention des risques « électrique » et « incendie » impose l'installation d'un dispositif de coupure d'urgence visible et facilement accessible à toute personne. Dans certains cas, il peut être installé un bouton d'arrêt d'urgence ne coupant que la partie dangereuse de l'équipement (par exemple en isolant la partie haute tension, uniquement). Cet arrêt d'urgence permet également à un sauveteur secouriste du travail de se mettre facilement en sécurité en cas d'accident corporel.



Domaines de tension	Valeur de la tension U (en Volts)		Nature des risques	Exemple de tension d'alimentation de laser
	Courant alternatif	Courant continu		
Très Basse Tension (TBT)	$U \leq 50$	$U \leq 120$	Très peu de risque d'électrisation	Diode laser basse puissance (5 - 80 V CC)
Basse Tension (BT)	$50 < U \leq 1000$	$120 < U \leq 1500$	Risque important d'électrisation et risque d'électrocution	Laser pompé par flash (100 - 1500 V)
Haute Tension (HT)	$U > 1000$	$U > 1500$	Risque important d'électrocution	Laser à gaz (2000 à 6000 V)

Tableau 4 Seuils de courant électrique et niveaux de danger correspondants

Intensité du courant	Effet sur l'organisme
0,5 mA	Perception cutanée
5 mA	Secousse électrique
10 mA	Contracture entraînant une incapacité à lâcher prise
25 mA	Tétanisation des muscles respiratoires (asphyxie au-delà de 3 min)
40 mA pendant 5 secondes	Fibrillation ventriculaire
50 mA pendant 1 seconde	Fibrillation ventriculaire
2 000 mA	Inhibition des centres nerveux

Tableau 5 Effet du courant électrique alternatif en fonction de son intensité sur l'organisme humain

Une intervention sur une installation électrique doit être autant que possible effectuée hors tension et dans tous les cas par des personnes disposant d'une habilitation électrique adaptée. Dans le cas des lasers de puissance, l'intervenant doit prendre soin de décharger les condensateurs et les maintenir en court-circuit.

8.2. Risque lié à la présence de gaz

Des gaz sont présents dans les installations laser dans les cas suivants :

- le milieu actif du laser est un gaz, appelé gaz « lasant »,
- certains procédés lasers nécessitent l'utilisation de gaz d'assistance,
- certaines conditions d'interaction laser - matière produisent des éléments gazeux.

Le gaz « lasant » (gaz pur ou mélange) est enfermé dans une cavité, et est maintenu à basse pression (laser à hélium-néon, laser à argon ionisé...) ou à haute pression (laser à excimère).

Les gaz utilisés peuvent être irritants, nocifs, toxiques, et/ou inflammables. C'est le cas notamment des lasers à excimère, constitués de mélanges gazeux de krypton-fluor, argon-fluor ou encore de xénon-chlore. Dans la plupart des cas, les mélanges gazeux sont maintenus dans des cavités scellées (laser hélium-néon, certains lasers à CO₂...) et n'ont pas besoin d'être renouvelés, contrairement aux lasers à excimère et à certains lasers à CO₂ dont les mélanges ont une durée de vie limitée et nécessitent donc une alimentation en gaz (bouteille de gaz).

De la même manière, certains procédés d'interaction laser – matière, notamment pour les procédés d'usinage (découpe, perçage, soudage) font appel à l'utilisation de gaz d'assistance tels que l'azote, l'oxygène, l'argon, l'hélium en vue :

- d'améliorer l'efficacité du procédé,
- d'isoler le procédé de l'atmosphère ambiante,
- d'évacuer les scories formées sur les bords de coupe.

En cas de fuite de gaz, l'oxygène, en tant que comburant, peut favoriser le développement d'incendie. De même, une fuite de gaz neutre (azote, argon, hélium) engendre un risque d'anoxie en raison de la diminution de la teneur en oxygène de l'air.

Le risque de fuite lié à l'utilisation de gaz dans les procédés lasers est à prendre en considération et doit donner lieu à la mise en place de mesures de prévention.

Pour plus de précisions sur la prévention liée à l'utilisation des bouteilles de gaz, se reporter au [cahier de prévention « Équipements sous pression »](#).

8.3. Risque chimique

8.3.1. Lasers à colorants

Ces colorants se présentent sous la forme de poudre ou de liquide qui sont mis en solution dans des solvants puis injectés et mis en circulation dans l'installation laser.

Les plus couramment utilisés sont des rhodamines, coumarines, dicyanométhylène (DCM). Ce sont des agents chimiques dangereux qui peuvent être irritants, toxiques pour la reproduction...

Les solvants (éthanol, méthanol, DMSO...) dans lesquels ils sont mis en solution peuvent favoriser le passage des colorants à travers la barrière cutanée. Ils sont par ailleurs le plus souvent inflammables et peuvent présenter des risques de formation d'atmosphère explosive. De plus, ils peuvent également être toxiques, irritants...

L'utilisation de ces colorants nécessite la mise en œuvre de moyens de protection et de prévention adaptés :

- détenir les fiches de données de sécurité (FDS) des colorants et solvants utilisés ;
- préparer les colorants sous une sorbonne en état de marche ;
- porter les EPI adaptés pour éviter tout contact avec la peau et les yeux pendant la manipulation ;
- stocker les produits dans des armoires sécurisées et ventilées ;
- mettre en place un protocole pour la récupération et la gestion des déchets.

Pour plus de précisions sur la prévention liée à l'utilisation de produits chimiques, se reporter au [cahier de prévention « Risque chimique »](#).

8.3.2. Vapeurs, aérosols, poussières

Les processus d'interaction laser - matière (découpe, marquage, perçage, soudage, traitement thermique...) peuvent être à l'origine de l'émission de vapeurs, aérosols et poussières en quantité plus ou moins importante, due à la vaporisation et la décomposition des matériaux. Les produits de ces émissions peuvent s'avérer dangereux (toxiques, irritants voire CMR).

Les locaux abritant des installations laser susceptibles de générer ce type d'émissions doivent être équipés d'un système de ventilation

adapté ainsi qu'un dispositif d'aspiration/captation et filtration des vapeurs, aérosols et poussières de produits. Un contrôle régulier de l'atmosphère de travail doit être effectué.

8.3.3. Nature chimique des optiques

Les constituants des optiques peuvent également présenter des risques chimiques. A titre d'exemple, il est possible de rencontrer des éléments contenant du séléniure de zinc (ZnSe, toxique), des fluorures de calcium et de baryum (CaF₂ et BaF₂, irritants/toxiques), de l'arséniure de gallium (GaAs, toxique)...

Leur manipulation requiert le port de gants spécifiquement conçus pour se protéger du risque chimique.

► Exemples

- La découpe laser de PVC provoque l'émission d'acide chlorhydrique, toxique mais également néfaste pour le matériel environnant.
- La découpe de la cellophane, du papier et du bois entraîne l'émission de sous-produits normaux de la cellulose mais également l'émission d'esters, d'acides, d'alcools et de benzène.
- L'usinage de matières plastiques génère des substances potentiellement dangereuses pouvant entraîner des émissions de produits :
 - allergènes ou/et irritants : acrylates, isocyanates,
 - cancérogènes : benzène, certains HAP (Hydrocarbonés Aromatiques Polycycliques),
 - irritants des muqueuses respiratoires : acroléine, amines, formaldéhyde,
 - toxiques : cyanure, dérivés du benzène, monoxyde de carbone.
- Lors du soudage ou du brasage de métaux, il peut également y avoir émission de vapeurs de métaux lourds.

8.4. Exposition au bruit

Les alimentations électriques, circuits de refroidissement et pompes à vide peuvent générer un bruit continu important. Dans certains cas, les impacts laser et les décharges haute tension peuvent également produire un niveau sonore élevé. Le dépassement des valeurs limites d'exposition au bruit peut entraîner une baisse de l'audition. Par ailleurs, l'exposition régulière prolongée peut causer une fatigue excessive physique et psychologique, et des troubles somatiques (troubles cardio-vasculaires...).

Les valeurs inférieures d'exposition déclenchant l'action correspondent aux valeurs à partir desquelles des EPI (casques auditifs, bouchons...) sont mis à disposition.

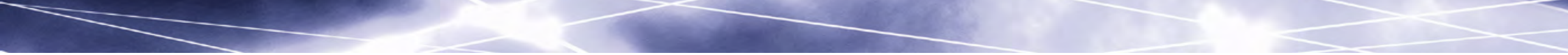
Les valeurs supérieures d'exposition déclenchant l'action correspondent aux valeurs à partir desquelles des EPI doivent être portés.

Dans la mesure du possible, les sources de bruit sont déportées dans un autre local où la présence de personnels est occasionnelle. Les portes de ce local devant rester fermées, il doit être convenablement climatisé pour éviter l'échauffement des équipements. Les équipements bruyants qui doivent rester à proximité du laser peuvent être installés dans un caisson d'insonorisation.

En dernier recours, les utilisateurs sont équipés de protections individuelles : bouchons d'oreilles, casques anti-bruit. Dans ce cas, les alarmes sonores (incendie, anoxie) doivent être doublées de signaux lumineux.

	Paramètres	Seuil
Valeur inférieure d'exposition déclenchant l'action	Exposition moyenne 8 h/j	80 dB(A)
	Niveau de crête	135 dB(C)
Valeur supérieure d'exposition déclenchant l'action	Exposition moyenne 8 h/j	85 dB(A)
	Niveau de crête	137 dB(C)
Valeur limite d'exposition	Exposition moyenne 8 h/j	87 dB(A)
	Niveau de crête	140 dB(C)

Tableau 6 Valeurs limites d'exposition au bruit



Annexe 1.

La réglementation et les normes

Prévention des risques et protection des personnes

- **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
- **Décision de la commission européenne du 5 février 2014** concernant les exigences de sécurité que doivent comporter les normes européennes concernant les produits de consommation à laser, conformément à la directive 2001/95/CE du Parlement européen et du Conseil relative à la sécurité générale des produits
- **Décret 2010-750 du 2 juillet 2010** relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels
- **Avis aux fabricants, importateurs et distributeurs** relatif à l'application du décret n° 2007-665 du 2 mai 2007 relatif à la sécurité des appareils à laser sortant
- **Décret n° 2007-665 du 2 mai 2007** relatif à la sécurité des appareils à laser sortant
- **Directive 2006/25/CE** du Parlement européen et du Conseil 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)

CAS DES POINTEURS LASER

- **Décret n° 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
- Article 68 de la **loi n° 2011-267 du 14 mars 2011** d'orientation et de programmation pour la performance de la sécurité intérieure
- **Arrêté du 13 mars 1998** portant suspension de la fabrication, de l'importation, de la mise sur le marché et ordonnant le retrait des pointeurs à laser de classe égale ou supérieure à 3 et des objets comportant ce type de pointeur à laser

CAS DES TIRS LASER EN EXTÉRIEUR

- **Décret n° 2012-1303** et article 68 de la **loi n° 2011-267** (cf. « pointeur laser »)
- **Arrêté du 11 décembre 2014** (disposition FRA.7024 alinéa e) relatif à la mise en œuvre du règlement d'exécution (UE) n° 923/2012 établissant les règles de l'air communes et des dispositions opérationnelles relatives aux services et procédures de navigation aérienne
- **Arrêté du 11 décembre 2009** modifiant le **règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public**

Annexe 1. La réglementation et les normes (suite)

Normes relatives à la sécurité laser

- **NF EN 60825-1** « Sécurité des appareils à lasers - partie 1 : Classification des matériels et exigences »*
- **NF EN ISO 11553-1** « Sécurité des machines - Machines à laser - partie 1 : prescriptions générales de sécurité »*

Normes relatives aux équipements de protection

- **NF EN 207** « Protection individuelle de l'œil - Filtres et protecteurs de l'œil contre les rayonnements laser (lunettes de protection laser) »*
- **NF EN 208** « 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) »*
- **NF EN 12254** « Écrans pour poste de travail au laser - Exigences et essais de sécurité »*
- **NF EN 60825-4** « Sécurité des appareils à laser – Partie 4 : Protecteurs pour lasers »*

**Norme dont le respect est réputé satisfaire aux exigences réglementaires ; se référer à la dernière version en vigueur.*

Annexe 2. Modèle téléchargeable et modifiable à partir du «Kit ROA» du CNRS

Référent sécurité laser - exemple de lettre de mission

Libellé et N° de l'unité

Lettre de mission Référent sécurité laser (RSL)



À *lieu*, le *date*

Civilité, nom, prénom du RSL

L'article R.4452-21 du code du travail impose que les établissements disposent en interne de compétences particulières afin de gérer les risques liés aux rayonnements optiques artificiels. Au sein de notre unité, ce risque est principalement lié à la mise en œuvre des lasers.

La nomination et le positionnement

Vous avez bien voulu accepter cette mission dans le cadre de l'organisation globale de la prévention des risques au sein de notre unité. Conformément aux dispositions de l'article précité, vous exercez cette mission, à partir de ce jour, sous ma responsabilité et de ce fait, recevez des directives de ma part et devez me rendre compte régulièrement de votre action. Je vous rappelle que cette dernière doit être essentiellement axée sur le conseil et l'assistance.

Il peut être mis fin à cette mission à la demande de l'une ou de l'autre partie. Un courrier actera cette fin de mission.

La formation

Afin de vous permettre de mener à bien cette mission, vous avez bénéficié d'une formation initiale de *x* jours (*2 jours minimum*) le *dates*, préalable à votre prise de fonction. Par ailleurs, des sessions de formation continue vous seront régulièrement dispensées. Ces formations vous seront proposées par les conseillers de prévention de nos tutelles.

Le champ de compétence

Votre mission de référent sécurité laser a pour objet principal de m'assister et de me conseiller dans la mise en œuvre des règles de prévention et de sécurité au travail pour les personnels et les usagers.

Vos missions s'articulent autour des axes suivants :

- la prévention des dangers relatifs aux expositions aux rayonnements optiques artificiels susceptibles de compromettre la santé et la sécurité des agents, dans le cadre des actions de prévention arrêtées par la direction de l'unité,
- l'amélioration des méthodes et du milieu du travail en adaptant les conditions de travail en fonction de l'aptitude physique des agents,
- l'approfondissement, dans les services, de la connaissance des problèmes de sécurité laser et des techniques propres à les résoudre.

Les activités associées sont les suivantes :

- Tenir à jour l'inventaire du parc lasers (utilisés et stockés) et tenir à disposition les informations sur leurs dangers.
- Piloter les évaluations des risques exposant les personnes intervenant à proximité d'appareils à laser ainsi que la mise à jour du document unique

Annexe 2. Référent sécurité laser - Exemple de lettre de mission (suite)

d'évaluation des risques professionnels en lien avec l'assistant prévention de l'unité.

- Proposer les mesures de prévention, dont les consignes de sécurité, en lien avec les responsables des manipulations.
- Former les nouveaux personnels et animer la sensibilisation sur la sécurité laser, en lien avec l'assistant de prévention de l'unité.
- Tenir à jour la liste des personnes habilitées.
- Calculer les niveaux d'exposition au poste de travail lorsque c'est nécessaire et les comparer aux valeurs limites réglementaires.
- Calculer la distance nominale de risque oculaire lorsque c'est nécessaire.
- Déterminer les échelons des lunettes de sécurité et de réglage.
- Accompagner les personnels concernés à la réalisation annuelle de leur fiche individuelle d'exposition aux rayonnements optiques artificiels.
- Procéder à l'analyse des accidents mettant en cause un appareil à laser, en lien avec l'assistant de prévention.
- Organiser la gestion des situations accidentelles, en lien avec l'assistant de prévention.

Afin de mener à bien ces missions, je vous informerai de tout événement ou décision ayant une incidence sur la prévention et la sécurité.

Vous avez un droit d'accès à tous les locaux de l'unité où sont mises en œuvre des installations laser, après avoir préalablement contacté le responsable concerné.

Votre action ne peut se concevoir sans une collaboration étroite avec les services de prévention et les médecins de prévention des tutelles de l'unité, qui sont vos interlocuteurs directs pour tout conseil et appui technique.

Vous exercez vos fonctions en relation avec les autres acteurs concourant à l'amélioration des conditions de travail des agents, essentiellement l'(es) assistant(s) de prévention.

Les moyens [paragraphe optionnel]

Pour l'exercice de cette mission vous disposez de *xx %* de votre quotité de travail, ce calcul tenant compte de votre disponibilité réelle, du nombre de sites et du nombre de personnes intervenant à proximité d'appareils à laser.

Je vous remercie de votre implication dans un domaine essentiel pour la sécurité au travail des agents.

Civilité, nom, prénom du directeur/de la directrice de l'unité
Signature du directeur/de la directrice de l'unité

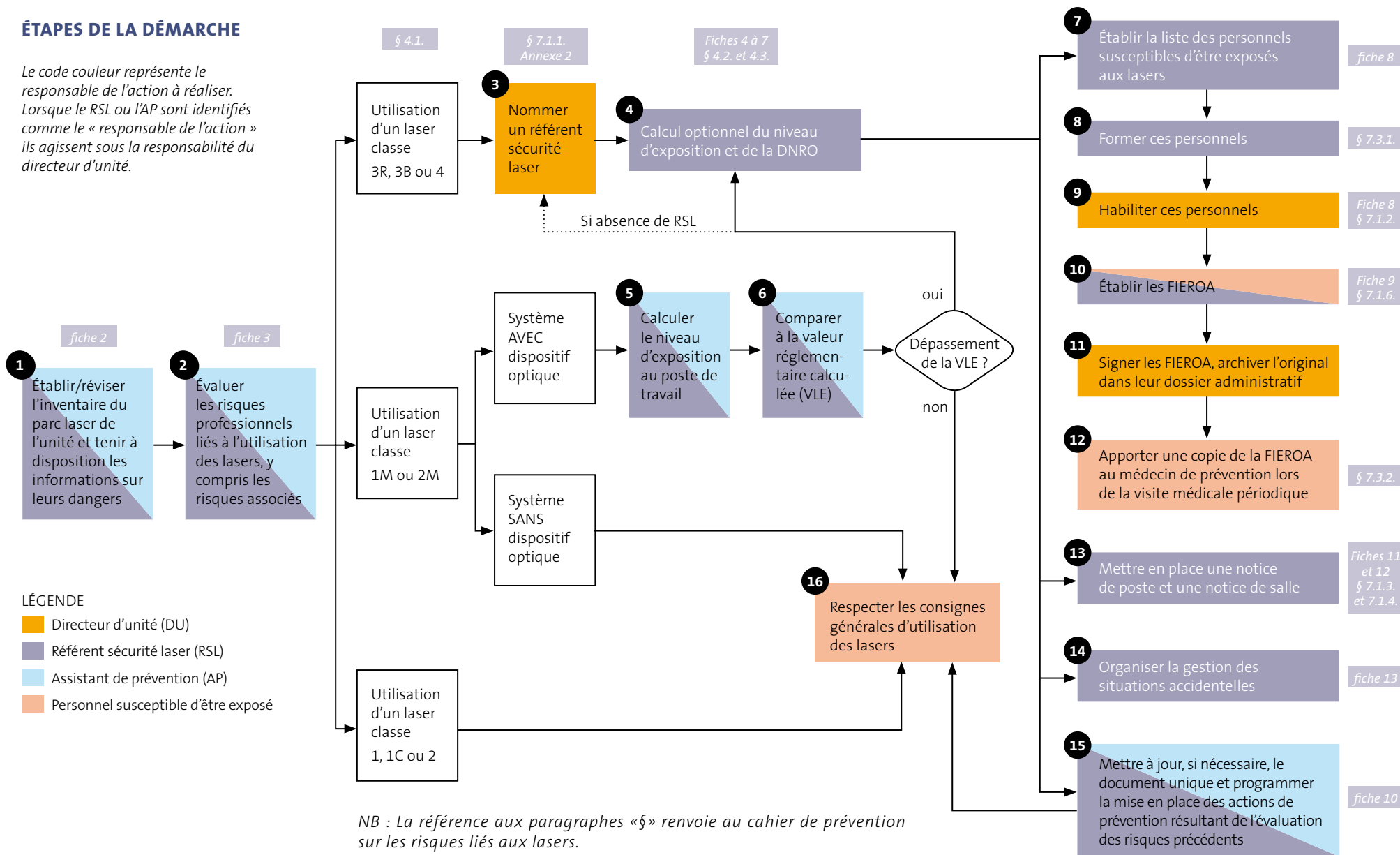
Annexe 3. Glossaire

AP	assistant de prévention	IR	infrarouge
ASN	autorité de sûreté nucléaire	IRPS	ingénieur régional de prévention et de sécurité
BT	basse tension	LASER	light amplification by stimulated emission of radiation
CAG	circulation aérienne générale	LEA	limite d'émission accessible
CE	communauté européenne	LEP	limite d'exposition protégée
CMR	cancérogène, mutagène, toxique pour la reproduction	LCFZ	zone de vol critique en ce qui concerne les faisceaux laser (laser-beam critical flight zone)
DCM	dicyanométhylène	LFFZ	zone de vol sans danger de faisceau laser (laser-beam free flight zone)
DGAC	direction générale de l'aviation civile	LSFZ	zone de vol sensible au faisceau laser (laser-beam sensitive flight zone)
DSAC	direction de la sécurité de l'aviation civile	MNT	modèle numérique de terrain
DMSO	diméthylsulfoxyde	OACI	organisation de l'aviation civile internationale
DNDO	distance nominale de danger oculaire	OCT	optical coherence tomography
DNERO	distance nominale de risque oculaire étendue	ON	ouverture numérique
DNRC	distance nominale de risque cutané	PEL	voir LEP
DNRO	distance nominale de risque oculaire	ROA	rayonnement optique artificiel
DU	directeur d'unité	RSL	référent sécurité laser
DUER	document unique d'évaluation des risques	SST	sauveteur secouriste du travail
EMP	exposition maximale permise	TBT	très basse tension
ERP	établissement recevant du public	UV	ultraviolet
EPI	équipement de protection individuelle	VLE	valeur limite d'exposition
FDS	fiche de données de sécurité	ZNDO	zone nominale de danger oculaire
FIROA	fiche individuelle d'exposition aux rayonnements optiques artificiels	ZNERO	zone nominale de risque oculaire étendue
FIRCT	fiche individuelle des risques et conditions de travail	ZNRC	zone nominale de risque cutané
FTIR	spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (Fourier Transform InfraRed spectroscopy)	ZNRO	zone nominale de risque oculaire
HAP	hydrocarbonés aromatiques polycycliques		
HT	haute tension		



ÉTAPES DE LA DÉMARCHE

Le code couleur représente le responsable de l'action à réaliser. Lorsque le RSL ou l'AP sont identifiés comme le « responsable de l'action » ils agissent sous la responsabilité du directeur d'unité.



1 Le RSL établit l'inventaire du parc laser de l'unité (la liste des équipements utilisés et stockés) et les classe par dangerosité.

• **Laser de classe 3R, 3B ou 4**

La puissance du laser est telle que les valeurs limites d'exposition (VLE) réglementaires sont dépassées. Il est nécessaire de réaliser une fiche individuelle d'exposition (FIEROA) pour chaque personnel exposé.

• **Laser de classe 3A**

Classe appartenant à l'« ancienne » classification (**Sous-chapitre 4.1.**).

• **Laser de classe 1**

Ces lasers ne sont jamais dangereux par définition en condition normale d'utilisation du fait de leur puissance.

• **Laser de classe 2**

Ces lasers fonctionnent dans le visible (400 - 700 nm), ils ne sont normalement pas dangereux du fait des défenses naturelles de l'œil, notamment le réflexe palpébral, qui lui assurent une protection. Le respect des consignes générales suffit pour éviter tout risque de lésions en cas d'exposition accidentelle.

• **Laser de classe 1M ou 2M**

Ces deux classes ne sont normalement pas dangereuses pour les mêmes raisons que les classes 1 et 2, mais peuvent cependant représenter un danger dans le cas où le faisceau laser est concentré à l'aide d'un dispositif optique. Dans ce cas, il convient de calculer les niveaux d'exposition pour s'assurer qu'elles ne dépassent pas les VLE réglementaires également calculées. En cas de dépassement, la FIEROA doit alors être réalisée.

• **Appareil à laser ramené à une classe 1 et 1C**

Ces équipements ne présentent pas de danger liés au faisceau laser en condition normale d'utilisation (hors phase de réglage et de maintenance). La classe 1C ne permet pas une exposition oculaire mais peut être dangereuse pour la peau (ou autres tissus non oculaires) en cas d'exposition non intentionnelle (**Sous-chapitre 4.1. et paragraphe 7.1.7.**).

Cette liste doit être mise à jour chaque fois qu'un nouveau laser ou appareil à laser est introduit dans l'unité. **La fiche 2** propose un modèle d'inventaire des lasers détenus.

Le RSL ou l'AP s'assure que le personnel a facilement accès aux informations concernant les dangers des lasers et appareils à lasers, concrétisées par la présence du pictogramme laser et par l'affichage d'une notice de poste pour chaque poste ou situation de travail le nécessitant.

2 Le RSL ou l'AP réalise une évaluation des risques professionnels liée à l'utilisation de chacun des lasers afin d'en limiter les risques.

Elle doit prendre en compte :

- le classement des lasers,
- le niveau, le domaine des longueurs d'onde et la durée de l'exposition, et si nécessaire la distance nominale de risque oculaire,
- la possibilité de remplacer les lasers par d'autres modèles ou dispositifs permettant de réduire les niveaux d'exposition,
- les informations fournies par les fabricants,
- les risques associés.

Le RSL ou l'AP procède à une réévaluation des risques en cas de modification d'installation.

La fiche 3 propose une grille d'évaluation des risques.

Cette évaluation des risques est formalisée dans le document unique d'évaluation des risques de l'unité.

Utilisation de laser(s) de classe 3R, 3B ou 4

- 3 Lorsqu'au moins un laser de classe 3R, 3B ou 4 est utilisé, le DU nomme un RSL (**Paragraphe 7.1.1.**).
Il est recommandé que le RSL dispose d'une lettre de mission signée par le DU. Un modèle de lettre de mission est disponible à l'**annexe 2**.
- 4 En fonction de l'installation, le RSL peut calculer la distance nominale de risque oculaire (DNRO) (**Sous-chapitre 4.3.**). La **fiche 7** propose des exemples de calcul de la DNRO.
Le RSL peut également calculer à titre indicatif le niveau d'exposition au poste de travail, la VLE réglementaire étant forcément dépassée (**Sous-chapitre 4.2.**).

Utilisation de laser(s) de classe 1M ou 2M

- 5 Le personnel susceptible d'être exposé, en lien avec l'AP ou le RSL, calculent les niveaux d'exposition au poste de travail (**Sous-chapitre 4.2.**).
- 6 Le RSL ou l'AP compare les niveaux d'exposition au poste de travail aux VLE calculées.
Lorsque les VLE sont dépassées, le DU nomme un RSL, s'il n'en existe pas déjà un, et met en place les mesures organisationnelles 7 à 15 (comme dans le cas de l'utilisation de lasers de classe 3R, 3B ou 4).

L'application LISA (**Fiche 4**) propose le calcul des grandeurs de sécurité.

Utilisation de laser(s) dont les valeurs d'exposition dépassent les VLE

- 7 Le RSL établit la liste des personnels susceptibles d'être exposés dont un modèle est présenté en **fiche 8**.
Sous la responsabilité du DU, ces personnes doivent le plus tôt possible passer une visite médicale de non contre-indication.
- 8 Le RSL forme ces personnels à la prévention des risques liés aux lasers. Cette formation intègre les notices de poste et l'organisation à respecter (**Paragraphe 7.3.1.**).
Un modèle de support est disponible dans le « kit ROA ».

- 9 Le DU habilite ces personnels (par exemple en signant le modèle proposé en **fiche 8**) (**Paragraphe 7.1.2.**).
- 10 Une FIEROA est établie par chaque personne exposée en lien avec le RSL. La fiche 9 propose un modèle de FIEROA (**Paragraphe 7.1.6.**).
- 11 La FIEROA est transmise au DU qui la valide et la signe. L'original est archivé dans le dossier administratif des personnels.
- 12 Le personnel apporte au médecin de prévention lors de sa visite médicale périodique une copie de sa FIEROA actualisée.
- 13 Le DU établit des notices de poste à afficher aux postes de travail. Des consignes concernant la conduite à tenir en cas d'accident doivent également être rédigées. Les **fiches 11** et **12** proposent respectivement un modèle de notice de poste et de notice de salle (**Paragraphe 7.1.3.** et **7.1.4.**).
- 14 Le RSL ou l'AP organise la gestion des situations accidentelles pouvant conduire à une exposition fortuite du personnel.
La **fiche 13** présente la conduite à tenir en cas de brûlure cutanée et d'exposition oculaire suspectée ou avérée.
- 15 Si besoin, le DU, en lien avec l'AP et le RSL, met à jour le document unique d'évaluation des risques professionnels et programme les actions de prévention résultant de l'évaluation des risques.
- 16 Si les lasers utilisés ne présentent pas de danger pour le personnel ou si les valeurs d'exposition ne dépassent pas les VLE, ils peuvent alors être utilisés sans moyen de protection particulier autre que le respect des consignes générales de sécurité (**Fiche 10**).

Unité : *libellé de l'unité*

Directeur/directrice de l'unité : *Prénom Nom*

Nom de l'assistant de prévention (AP) : *Prénom Nom*

Nom du Référent Sécurité Laser (RSL) : *Prénom Nom*

Équipe/Service	Local	Nom de l'installation	Nom du responsable de l'équipement	Type du laser	Classe	Année d'acquisition	Longueur d'onde (nm)	Continu	Impulsionnel			Divergence (Rd)	Diamètre faisceau (m)
								Puissance (W)	Fréquence (Hz)	Énergie (J)	Durée de l'impulsion (s)		
AAA	B12	Centurion	Robert Dupont	diode pumped laser	4	2013	1064		100	0,04	8,00E-09	7,00E-03	2,60E-03
AAA	C15	Origami	Robert Dupont	Ti:saphir	4	2012	1057		8,00E+07	2E-09	1,20E-10	1,00E-03	3,00E-03
AAA	D14	Verdi V8	Robert Dupont	Ti:saphir	4	2011	532	5				5,00E-04	2,30E-03

IMPORTANT : Cette liste doit être mise à jour à chaque fois qu'un nouveau laser ou appareil à laser est introduit dans l'unité.

Fait le

Signature de l'AP ou du RSL

Signature du directeur/de la directrice de l'unité

Unité

Bâtiment étage Pièce

Assistant de prévention

Référent Sécurité Laser

Classe du laser	1	1M	2	2M	3R	3B	4	TOTAL
Nombre de lasers								

Critères de maîtrise de risques	Oui	Non	Remarques
CONCERNANT LE LOCAL			

1	Des asservissements sont-ils mis en place au niveau des accès à la salle ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Une signalétique adaptée au risque est-elle présente à l'entrée du local ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	La liste des personnes autorisées est-elle affichée à l'entrée du local ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Le local dispose-t-il d'un contrôle d'accès (badge, clé...) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Le local dispose-t-il d'un sas optique ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Les EPI sont-ils mis à disposition dans le sas ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Des consignes sont-elles affichées dans le sas ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Les revêtements sont-ils compatibles avec le rayonnement ? (afin de garantir la prévention des réflexions)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Critères de maîtrise de risques		Oui	Non	Remarques
CONCERNANT LE LOCAL				
5	Le local dispose-t-il d'ouvrants sur l'extérieur ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Ces ouvrants peuvent-ils être occultés ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Les dispositifs d'occultation sont-ils résistants au rayonnement laser ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Les dispositifs d'occultation répondent-ils à la norme NF EN 60825-4 ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Le local est-il suffisamment éclairé pendant l'émission du laser ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	Une tenue de travail est-elle définie pour le local ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Le comportement de la blouse en cas d'impact laser est-il connu ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Le port de bagues/ montre /... est-il interdit dans le local ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Plusieurs installations sont-elles présentes dans le local ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Les différentes installations sont-elles cloisonnées (optiquement) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Les cloisonnements sont-ils résistants au rayonnement laser ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Les cloisonnements répondent-ils à la norme NF EN 60825-4 ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Peut-on circuler librement autour des installations ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Le local dispose-t-il d'une détection de gaz ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Le local dispose-t-il d'une détection d'inondation ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Critères de maîtrise de risques	Oui	Non	Remarques
CONCERNANT L'INSTALLATION			
1	Les tables optiques sont-elles capotées intégralement ?		
	Les capots sont-ils résistants au rayonnement présent ?		
	Les capots sont-ils conformes à la NF EN 12254 ou NF EN 60825-4 ?		
	Les capots sont-ils équipés d'asservissement(s) ?		
	Les capots sont-ils aisément manœuvrables ?		
	Des recherches de fuites sont-elles faites régulièrement ?		
	A défaut de capot, le faisceau est-il tubé ?		
2	Les équipements d'interface sont-ils au dessus du plan optique ?		
3	Une gestion de fin de faisceau est-elle en place ?		
	Des bloqueurs de fuites sont-ils prévus ?		
	Le trajet optique est-il connu en permanence ?		
	Les optiques et porte-optiques sont-ils fixés à la table ?		
	Des instruments inutiles sont-ils présents sur la table ?		
	Le faisceau est-il orienté vers les ouvrants du local ?		
	Le faisceau est-il horizontal ?		
	Le faisceau est-il à "hauteur d'homme" ?		
	Le faisceau change-t-il de hauteur (périscope) ?		
Des équipements permettant la visualisation du faisceau sont-ils disponibles ?			

Critères de maîtrise de risques	Oui	Non	Remarques
CONCERNANT L'INSTALLATION			
4 Des lunettes de sécurité sont-elles disponibles ?			
Existe-t-il une paire par situation et par permanent ?			
Des lunettes de sécurité sont-elles disponibles pour les visiteurs ?			
4 Une vérification des lunettes est-elle faite régulièrement ?			
Les lunettes sont-elles adaptées au rayonnement présent ?			
Les lunettes sont-elles conformes aux normes NF EN 207 ou 208 ?			
Les lunettes sont-elles identifiées par installation / situation de travail ?			
5 Des notices de postes sont-elles mises en place ?			
6 Une procédure d'alignement existe-t-elle ?			
Les alignements se font-ils à faible énergie ?			

Critères de maîtrise de risques	Oui	Non	Remarques
CONCERNANT L'UNITÉ			
Un RSL identifié, nommé et formé est-il présent dans l'unité ?			
Un inventaire des sources laser (avec données sécurité) est-il réalisé ?			
Un inventaire des locaux (répartition des sources) est-il établi ?			
Une formation sécurité adaptée aux travaux réalisés est-elle mise en place ?			
Les FIEROA sont-elles établies ?			
Les agents disposent-ils d'un suivi médical adapté ?			
La première visite chez le médecin de prévention est-elle antérieure à l'activité laser ?			
Le directeur d'unité établit-il une liste des personnes habilitées au risque laser ?			
Des consignes en cas d'accident existent-elles et sont-elles diffusées ?			
Le DUERP intègre-t-il le risque laser ?			
Les notices de postes sont-elles en place ?			
Les niveaux d'exposition, DNRO, échelon de lunettes... sont-ils déterminés ?			

Critères de maîtrise de risques	Oui	Non	Remarques
CONCERNANT L'APPAREIL (à remplir pour chaque appareil inventorié)			
NOM DE L'APPAREIL :			CLASSE :

- L'appareil est-il conforme à la NF EN 60825-1 ?
 - > Si non, l'appareil est-il conforme à une autre norme ? Si oui laquelle ?
- La notice de l'appareil est-elle disponible ?
- Existe-t-il des arrêts d'urgence ?
- Des interlocks sont-ils raccordables ?
- Une procédure existe-t-elle pour l'émission du rayonnement ?
- Les caractéristiques du rayonnement sont-elles connues ?
- Les grandeurs de sécurité sont-elles calculées pour toutes les situations ?
- Des plaques signalétiques de risques sont-elles présentes sur l'appareil ?
- L'émission du rayonnement et sa propagation sur la table sont-elles 2 étapes distinctes ?
- Existe-t-il une clé pour la mise en marche ?
- Le démarrage n'est-il possible que par une action délibérée ?
- Si le poste de commande est déporté, la zone est-elle sous surveillance vidéo ?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

L'application **LISA** est mise en place par le CNRS pour ses unités afin de permettre aux référents sécurité laser (RSL) et aux assistants de prévention (AP) de déterminer les grandeurs de sécurité relatives aux différentes situations d'exposition.

Conforme au code du travail et à défaut aux normes de référence applicables, cette application permet de déterminer pour la peau et les yeux :

- les valeurs limites d'exposition (VLE),
- les niveaux d'exposition au poste de travail,
- les classes de risque des rayonnements,
- les distances de risque,
- les indices de protection des équipements de protection collectifs (écran, rideaux) et individuels (lunettes).

Les types de rayonnements couverts par cette application sont :

- les rayonnements optiques artificiels ayant des longueurs d'onde de 180 nm à 1 mm,
- tous types de rayonnements cohérents (laser),
 - continu ou impulsionnel,
 - toutes gammes d'énergie/puissance,
 - avec ou sans balayage,
 - super continuum (« blanc »),
- les rayonnements non cohérents.

L'application LISA a été conçue pour aider dans les calculs récurrents s'appliquant à des équipements présents dans les laboratoires. Le référencement préalable de ces équipements et de leurs rayonnements associés permet ensuite de faciliter la production des calculs pour chaque source déjà référencée.

LISA permet également de s'adapter à vos situations de travail ponctuelles et donc de produire des calculs pour des sources non inventoriées.

En complément de la partie « calcul », il est possible d'imprimer ou d'exporter les résultats.

Lisa Calculs sécurité pour des rayonnements optiques artificiels

Date d'édition : 07/12/2018
 Type de source : Source cohérente
 Phase de travail : Exemple

Données d'entrée :

Spectrales	Temporelles	Energétiques	Spatiales
Par raies (1 longueur d'onde) Longueur d'onde λ (nm) : 532	Emission en mode continu Durée d'émission (s) : 0.25	Puissance longueur d'onde λ (W) : 2	Pas de balayage Distance de travail (m) : 5 Divergence suivant Ox à 63% (rd) : 0.001 Divergence suivant Oy à 63% (rd) : 0.001 Diamètre suivant Ox à 63% (m) : 0.001 Diamètre suivant Oy à 63% (m) : 0.001

Calculs de sécurité :

• **Oeil :**

Lambda (nm)	VLE Oeil (W/m²)	Classe	Niv. Oeil	Diamètre	DNPO (m)	DNPOc (m)	DNPOc diff. (m)	NF EN 207	NF EN 208	NF EN 12254
532	2.54×10^3	4	2.04×10^2	3.31	3.15×10^2	2.23×10^2	0	LB4D	RB5	AB6D

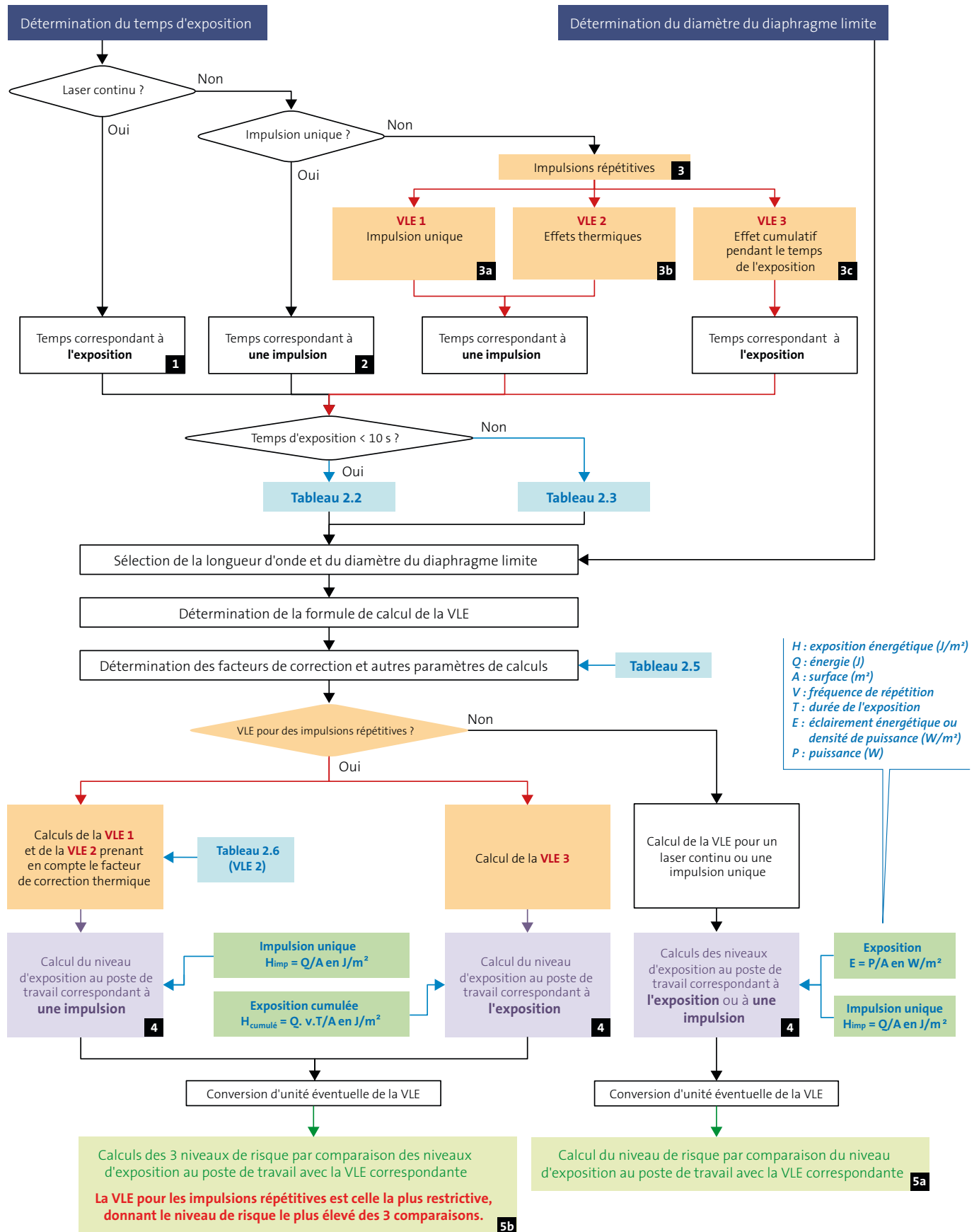
• **Peau :**

Lambda (nm)	VLE Peau (W/m²)	Niv. Peau	DNPC (m)	DNPC diff. (m)
532	2.00×10^2	3.53×10^1	3.46×10^1	0

Extrait d'une fiche de calcul de l'application LISA

Cette fiche décrit la méthode de calcul des VLE pour l'œil et du niveau d'exposition correspondant. Elle s'appuie sur un logigramme méthodologique dans le respect de la norme NF EN 65825-1 (démarche) et du

décret 2010-750 en application des tableaux 2.2, 2.3, 2.5 et 2.6 de la [directive 2006/25/CE](#) et de l'esprit de la littérature.



- 1 Pour un laser continu, le temps d'exposition dépend de la longueur d'onde du laser.

Gamme de longueur d'onde	Exposition accidentelle	Visée intentionnelle
180 nm - 400 nm	10 à 100 s	Temps maximal prévisible T _{max}
400 nm - 700 nm	0,25 s (réflexe palpébral)	Temps maximal prévisible T _{max}
700 nm - 1400 nm	10 s	Temps maximal prévisible T _{max} (10 s)
1400 nm - 1 mm	10 à 100 s	Temps maximal prévisible T _{max}

NOTE : pour la gamme [700 nm - 1 400 nm], la littérature précise qu'un temps de 10 s peut être retenu, même en visée intentionnelle, en raison d'une protection apportée par les mouvements du globe oculaire.

RAPPEL : les situations de visée intentionnelle sont proscrites.

On utilise le tableau 2.2 du décret pour les durées inférieures à 10 s ou le tableau 2.3 pour les durées supérieures à 10 s.

- 2 Pour une impulsion unique, le temps d'exposition correspond au temps de l'impulsion. Dans la très grande majorité des cas, ce temps est inférieur à 10 s et la formule de la VLE est à sélectionner dans le tableau 2.2 du décret.
- 3 Pour les impulsions répétitives, trois calculs sont à réaliser correspondant à une impulsion unique (VLE 1), à la prise en compte des effets thermiques (VLE 2) et à la prise en compte de l'effet cumulatif d'impulsions pendant la durée d'exposition (VLE 3), tels que décrits dans le **sous-chapitre 4.2**.
- a. Pour la VLE 1, le temps d'exposition correspond à la durée de l'impulsion (comme le cas 2).

b. Pour la VLE 2, le temps d'exposition correspond à la durée de l'impulsion ; le facteur correctif $C_p = N^{-0,25}$ implique de connaître le nombre d'impulsions N délivrées pendant le temps T_{min} donné dans la table 2.6 du décret.

c. Pour la VLE 3, le temps d'exposition et le tableau du décret (2.2 ou 2.3) à utiliser sont déterminés de la même façon que pour les lasers continus (tableau ci-dessus).

- 4 Le niveau d'exposition NE est déterminé en utilisant les paramètres de temps d'exposition et en choisissant la grandeur E (W/m²) ou H (J/m²) par rapport aux tableaux 2.2 ou 2.3.
- 5 Le niveau de risque est déterminé en calculant le rapport du niveau d'exposition NE à la VLE.
- a. Pour un laser continu ou un laser à impulsion unique : NE/VLE.
- b. Pour un laser à impulsions répétitives, on calcule trois niveaux de risques et on utilise le plus restrictif :
- NE 1/VLE 1, où NE 1 est le niveau d'exposition correspondant à 1 impulsion,
 - NE 1/VLE 2 où NE 1 est le niveau d'exposition correspondant à 1 impulsion et VLE 2 = VLE 1.C_p,
 - NE 3/VLE 3, où NE 3 est le niveau d'exposition correspondant à l'exposition cumulée pendant la durée d'exposition.



Cette fiche décrit le calcul des échelons de lunettes selon la norme NF EN 207 pour les lunettes de protection laser. Elle reprend le tableau de sélection de la norme et un logigramme méthodologique.

Mode temporel

Suivant le mode temporel de la source, plusieurs cas sont à prendre en compte :

- laser continu : **cas n°1**, calcul de l'échelon D,
- laser impulsionnel, impulsion longue : **cas n°2**, calcul de l'échelon D uniquement,
- laser impulsionnel de la μs à la ns : **cas n°3**, calcul de l'échelon D, puis de l'échelon « I, R »,
- laser impulsionnel < ns : **cas n°4**, calcul de l'échelon D, puis de l'échelon M.

Diamètre de faisceau

Le tableau B.1 est utilisé directement pour un diamètre de faisceau de 1 mm. Pour des diamètres différents, il est nécessaire de multiplier le flux de la source considérée par un coefficient correctif F pour une comparaison directe avec le tableau B.1 :

- $F = d^{1,1693}$ pour des filtres en verre,
 - $F = d^{1,2233}$ pour des filtres en plastique,
- avec d, le diamètre du faisceau en millimètre (mm).

On utilise ensuite d pour calculer la surface de faisceau à prendre en compte, notée A, en mm^2 :

$$A = d^2 \times \pi/4$$

Expression du flux lumineux

Dans le cas d'un laser continu, on calcule l'éclairement énergétique, noté E :

$$E = P/A, \text{ en } W/m^2$$

avec P, la puissance de la source en Watt.

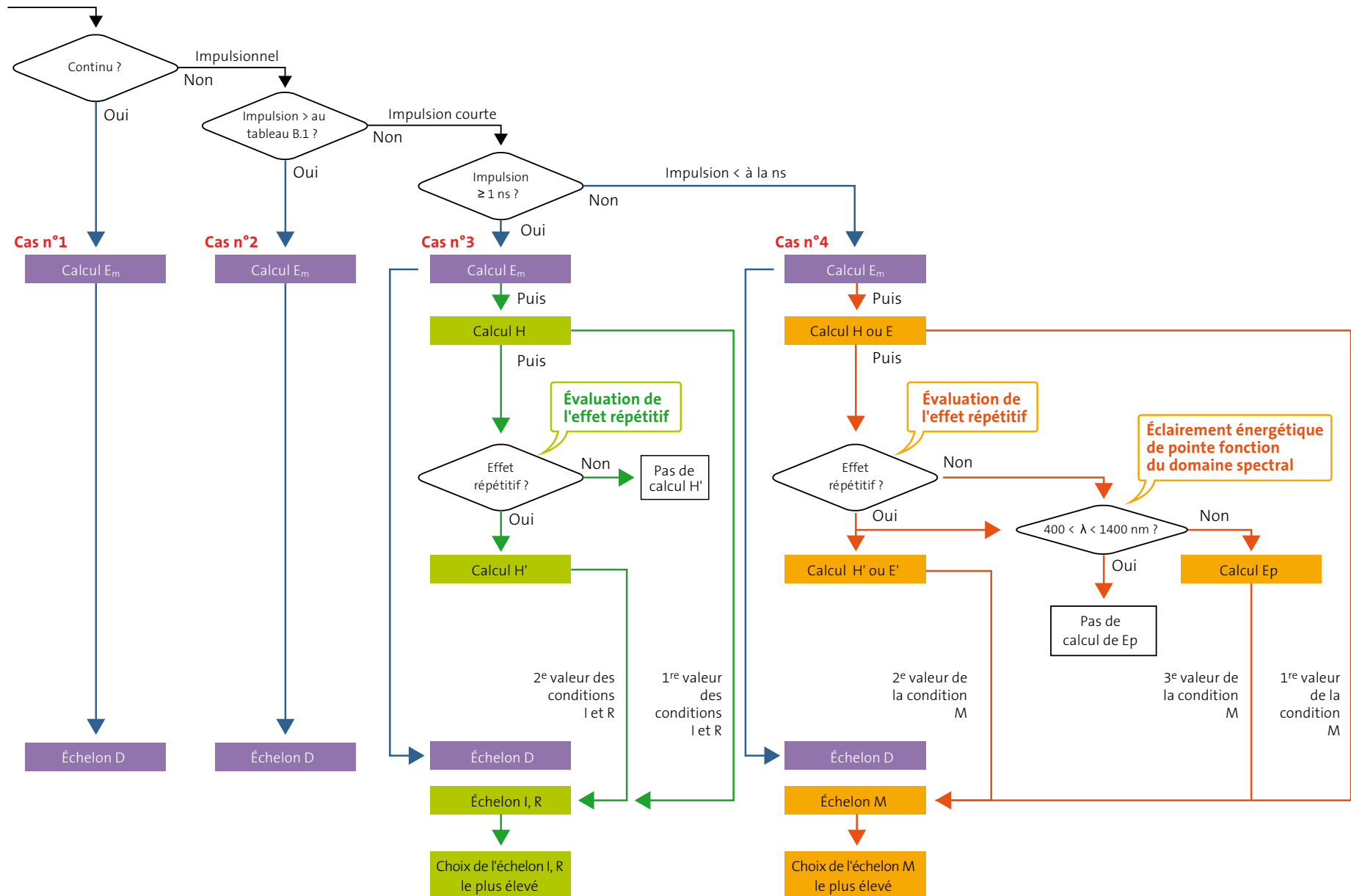
Dans le cas d'un laser impulsionnel, on calcule l'exposition énergétique, notée H :

$$H = Q/A, \text{ en } J/m^2$$

avec Q, l'énergie de la source en Joule.

Numéro d'échelon	Transmission spectrale maximale à la longueur d'onde laser $\tau(\gamma)$	Éclairement (E) et exposition (H) énergétiques maximaux dans le domaine spectral								
		180 nm à 315 nm			> 315 nm à 1 400 nm			> 1 400 nm à 1 000 μm		
		Type de laser/durée d'exposition en secondes (s)								
	D $\geq 3 \times 10^4$	I, R 10^9 à 3×10^4	M $< 10^{-9}$	D $\geq 5 \times 10^{-4}$	I, R 10^9 à 5×10^{-4}	M $< 10^{-9}$	D $> 0,1$	I, R 10^9 à 0,1	M $< 10^{-9}$	
	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	
LB1	10^{-1}	0,01	3×10^2	3×10^{11}	10^2	0,05	$1,5 \times 10^{-3}$	10^4	10^3	10^{12}
LB2	10^{-2}	0,1	3×10^3	3×10^{12}	10^3	0,5	$1,5 \times 10^{-2}$	10^5	10^4	10^{13}
LB3	10^{-3}	1	3×10^4	3×10^{13}	10^4	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
LB4	10^{-4}	10	3×10^5	3×10^{14}	10^5	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
LB5	10^{-5}	10^2	3×10^6	3×10^{15}	10^6	5×10^2	15	10^8	10^7	10^{16}
LB6	10^{-6}	10^3	3×10^7	3×10^{16}	10^7	5×10^3	$1,5 \times 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
LB7	10^{-7}	10^4	3×10^8	3×10^{17}	10^8	5×10^4	$1,5 \times 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
LB8	10^{-8}	10^5	3×10^9	3×10^{18}	10^9	5×10^5	$1,5 \times 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
LB9	10^{-9}	10^6	3×10^{10}	3×10^{19}	10^{10}	5×10^6	$1,5 \times 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
LB10	10^{-10}	10^7	3×10^{11}	3×10^{20}	10^{11}	5×10^7	$1,5 \times 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

Tableau B.1 de la norme



Laser continu (Cas n°1)

- a) Calculer l'éclairement énergétique E.
 b) Rechercher dans la colonne D du tableau B.1 la valeur de E immédiatement supérieure. On obtient l'échelon D correspondant.

Laser en impulsion longue (Cas n°2)

- a) Si la durée d'impulsion est supérieure à la durée d'exposition indiquée dans l'en-tête de la colonne D du tableau B.1 (encadrée en rouge), seule la condition D est évaluée, en utilisant l'éclairement énergétique moyen :

$$E_{\text{moyen}} = P_{\text{moyen}}/A$$

$$E_{\text{moyen}} = Q \cdot \nu / A$$

- avec Q : énergie par impulsion
 ν : fréquence de répétition
 A : surface du faisceau

- b) Rechercher dans la colonne D du tableau B.1 la valeur de E_{moyen} (E_m) immédiatement supérieure. On obtient l'échelon D correspondant. Dans ce cas, la lunette ne devra satisfaire qu'à la condition D.

Laser impulsionnel supérieur à la nanoseconde (Cas n°3)

- a) Si la durée d'impulsion est inférieure à la durée d'exposition indiquée dans l'en-tête de la colonne S du tableau B.1, alors l'échelon D est obtenu comme dans le cas d'une impulsion longue, en utilisant l'éclairement énergétique moyen E_m (Voir cas n°2 pour le calcul).

- b) L'évaluation en régime impulsionnel est réalisée en utilisant :

- la colonne I pour les impulsions plus longues que 1 μs
- la colonne R pour les impulsions entre 1 μs et 1 ns

On calcule l'exposition énergétique H :

$$H = Q/A$$

- c) Rechercher dans la colonne « I, R » du tableau la valeur de H immédiatement supérieure. On obtient un premier échelon « I, R ».

- d) L'effet thermique cumulé d'impulsions répétitives (H') doit être évalué si :

- la longueur d'onde est supérieure à 400 nm
- la durée d'impulsion est inférieure à 0,25 s
- ou la fréquence de répétition est supérieure à 1 Hz

L'exposition énergétique H est corrigée par un facteur :

si $T > T_i$ alors $H' = H \times k$

si $T < T_i$ alors $H' = H \times k \times kTi$

avec $k = N^{1/4}$

$N = \nu \times 5$: nombre d'impulsions pendant 5 s

$kTi = \nu \times T_i$: nombre d'impulsions pendant T_i

Les valeurs de T_i sont données par le tableau B.2 de la norme NF EN 207 :

λ (nm)	T_i (s)	ν_{max} (Hz)
$400 \leq \lambda < 1050$	$18 \cdot 10^{-6}$	$55,56 \cdot 10^3$
$1050 \leq \lambda < 1400$	$50 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^3$
$1400 \leq \lambda < 1500$	10^{-6}	10^3
$1500 \leq \lambda < 1800$	10	0,1
$1800 \leq \lambda < 2600$	10^{-3}	10^3
$2600 \leq \lambda$	10^{-7}	10^7

- e) Rechercher dans la colonne « I, R » du tableau B.1 la valeur de H' immédiatement supérieure. On obtient un second échelon I ou R.

Parmi les deux valeurs de l'échelon I ou R qu'il est possible d'obtenir, l'échelon le plus élevé est retenu. La lunette doit également satisfaire à la condition D.

Laser impulsionnel inférieur à la nanoseconde (Cas n°4)

a) Pour les durées d'impulsion inférieure à la ns, l'échelon D est obtenu comme dans le cas d'une impulsion longue, en utilisant l'éclairement énergétique moyen E_m (Voir cas n°2 pour le calcul).

b) L'évaluation en régime impulsionnel est réalisée en utilisant la colonne M. On calcule l'éclairement énergétique E :

$$E = Q \cdot v / A$$

c) Rechercher dans la colonne M du tableau B.1 la valeur de E immédiatement supérieure. On obtient un second échelon M.

d) L'effet thermique cumulé d'impulsions répétitives (E') doit être évalué aux mêmes conditions que précédemment, en utilisant l'éclairement énergétique :

si $T > T_i$ alors $E' = E \times k$

si $T < T_i$ alors $E' = E \times k \times kTi$

d) Si la longueur d'onde est comprise entre 400 nm et 1400 nm, l'exposition de pointe E_p doit également être évaluée :

$$E_{\text{pointe}} = P_{\text{pointe}} / A$$

e) Rechercher dans la colonne M du tableau B.1 la valeur de E_p immédiatement supérieure. On obtient un troisième échelon M.

Parmi les valeurs obtenues de l'échelon M (jusqu'à 3), celui le plus élevé est retenu. La lunette doit également satisfaire à la condition D.

Marquage

Le marquage des lunettes selon la norme NF EN 207 est défini comme suit :

- la longueur d'onde
- une lettre pour le mode temporel : D, I, R ou M
- l'échelon précédé des lettres LB* (ou L avant 2010)
- l'identifiant du fabricant

Une lunette peut être certifiée pour plusieurs plages temporelles ou spectrales. Son marquage est reproduit pour chaque plage.

LONGUEUR D'ONDE

Longueur d'onde ou plage de longueur d'onde en nm.

MODE TEMPOREL

- D : laser continu
- I : impulsions de 0,25 s à 1 μ s
- R : impulsions de 1 μ s à 1 ns
- M : impulsions plus courtes que 1 ns

ÉCHELON

Atténuation en puissance de 10

- LB1 : 10
- LB2 : 100
- LB3 : 1 000
- LB4 : 10 000
- ...

Exemple

- de 840 à 950 nm et de > 1070 à 1090 nm, du continu à la 1 ns (mode D, I et R) : **Échelon 5** (10^5)
- de 840 à 1090 nm et en deçà de 1 ns (mode M) : **Échelon 5** (10^5)
- de 950 à 1070 nm pour du continu : **Échelon 5** (10^5)
- de > 950 à 1070 nm et de 0,25 s à 1 ns (mode I et R) : **Échelon 7** (10^7)
- identifiant du fabricant (NOIR)



Remarque : Le suffixe Y est ajouté lorsque le protecteur de l'œil n'est pas soumis à essai avec des faibles taux de répétition (≤ 25 Hz), par exemple « LB5Y ».

*Pour les lunettes de réglage (norme NF EN 208), les lettres LB sont remplacées par RB (ou R avant 2010)

Définition

La DNRO est la distance nominale de risque oculaire au-delà de laquelle la valeur limite d'exposition est respectée, c'est-à-dire que le rayonnement optique artificiel ne représente plus un danger pour l'œil.

Cette distance, qui s'exprime en mètres, correspond donc à une distance de danger du laser et son calcul peut s'avérer nécessaire pour l'évaluation des risques professionnels.

Ainsi, le calcul de cette distance dépend :

- des caractéristiques d'émission du laser (puissance de sortie, diamètre, divergence de faisceau émis),
- des valeurs limites d'exposition (VLE) au niveau de la cornée (fonction des caractéristiques spectrales et temporelles du faisceau laser),
- du dispositif optique mis en œuvre pour conduire le faisceau.

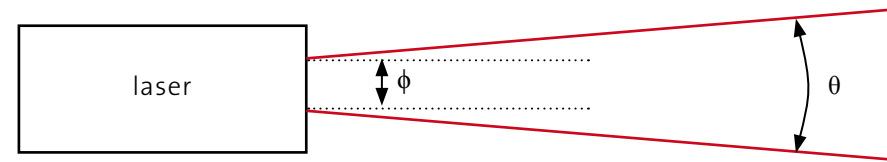
Pour les lasers de classe 3B et 4, cette distance peut s'avérer être considérable. Il est alors nécessaire de stopper le faisceau dans son périmètre d'utilisation.

Dans cette fiche, on se propose de présenter le calcul de la DNRO pour 3 des situations les plus fréquemment rencontrées.

Cas d'un faisceau se propageant en champ libre

On considère un faisceau laser, très faiblement divergent, se propageant en champ libre (c'est-à-dire, sans rencontrer aucun obstacle ou composant optique modifiant ses propriétés géométriques et physiques) depuis la sortie du système laser. Si on pose que, à la sortie dudit système laser, le faisceau a les propriétés suivantes (voir schéma ci-contre) :

- Diamètre : ϕ (en m)
- Divergence : θ (en radians)
- Puissance ou Emission : E (en W ou en J)
- VLE : Valeur Limite d'Exposition (en $W.m^{-2}$ ou en $J.m^{-2}$)



Dans ce cas, la DNRO peut s'exprimer au travers de la relation suivante :

$$DNRO = \frac{1}{\theta} \left[\sqrt{\frac{4 \times E}{\pi \times VLE}} - \phi \right]$$

Exemples

Cas d'un laser Nd:YAG doublé impulsionnel et d'un laser continu avec les caractéristiques suivantes :

Type de laser	Nd:YAG impulsionnel	Laser continu
Longueur d'onde (en m)	532×10^{-9}	514×10^{-9}
Diamètre (en m)	6×10^{-3}	1×10^{-3}
Divergence (radians)	0.001	0.0005
Puissance/énergie	0.4 Joule	2 Watts
Durée des impulsions (en s)	5×10^{-9}	-
Fréquence des tirs (en s^{-1})	10	-

Dans le cas du laser impulsionnel, la VLE est de $5.10^{-3} J.m^{-2}$, ce qui conduit à une DNRO de l'ordre de **10 km**.

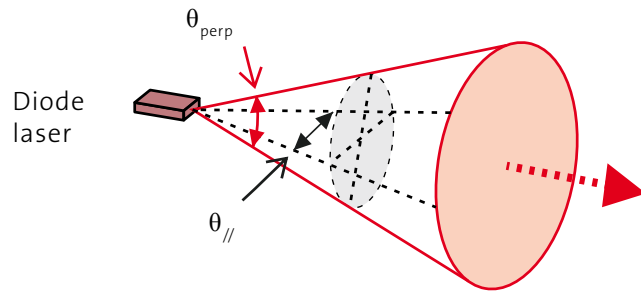
Pour le laser continu, on prend en compte une exposition de 0,25 s, correspondant au temps du réflexe palpébral. La VLE est alors donnée par la relation :

$$VLE = 18 \times t^{0.75} J.m^{-2}$$

On en déduit une DNRO de l'ordre de **612 m**. Il est clair que cette distance croît avec le temps d'exposition.

Cas d'une diode laser continue de puissance P

On considère un faisceau directement à la sortie d'une diode laser. Ce faisceau est elliptique et est caractérisé par 2 angles de divergence $\theta_{//}$ et θ_{perp} . Si le faisceau a une puissance P (en W) et que l'on considère une durée t d'exposition de la cornée, la DNRO s'exprime alors sous la forme suivante :



La DNRO pour la propagation du faisceau en champ libre se détermine au travers de la relation suivante :

$$DNRO = \left[\sqrt{\frac{P \times t}{\pi \times VLE \times \left(\tan\left(\frac{\theta_{//}}{2}\right) \times \tan\left(\frac{\theta_{\text{perp}}}{2}\right) \right)}} \right]$$

Exemple

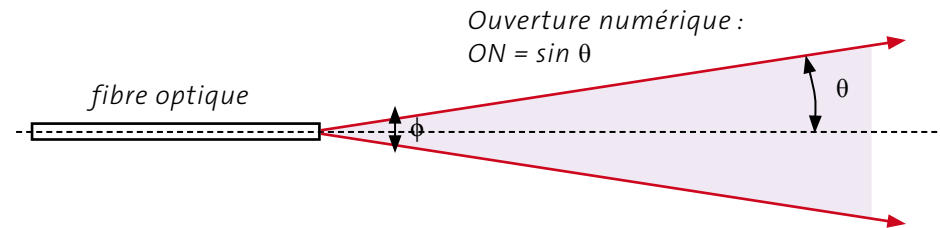
Cas d'une diode laser continue émettant un faisceau, à 808 nm, de puissance 100 mW. Les angles de divergences $\theta_{//}$ et θ_{perp} sont respectivement de 14° et 8°.

Comme dans l'exemple précédent, on considère un temps d'exposition de la cornée de 0,25 s pour le calcul de la VLE. Ce qui donne :

DNRO = 0,38 m

Cas d'une fibre optique

La divergence d'un faisceau en sortie de fibre optique est le plus souvent présentée sous le nom d'ouverture numérique (ON). Cette ON dépend principalement des indices de réfraction du cœur et de la gaine de cette fibre. Il s'agit d'une valeur adimensionnelle qui est égale au sinus du demi-angle de divergence.



Dans le cas présent, la DNRO s'exprime sous la forme suivante :

$$DNRO = \frac{1}{\tan(\sin^{-1} ON)} \sqrt{\frac{P \times t}{\pi \times VLE}}$$

Exemple

Cas d'une fibre optique, d'ouverture numérique ON = 0,13, véhiculant un faisceau laser, de puissance 0,2 W, à 1550 nm.

Pour ce domaine de longueur d'onde, la VLE est de 104 J.m⁻².

Si on considère, cette fois-ci un temps d'exposition de la cornée de 1 s, le calcul de la DNRO donne :

DNRO = 20 cm

Cette liste des personnes susceptibles d'être exposées à un rayonnement LASER de classe 3R ou supérieure est faite conformément à l'article R.4452-22 du Code du travail.

Unité : *libellé de l'unité*

Directeur/directrice de l'unité : *nom, prénom*

Nom	Prénom	Local	Référence de la notice de poste	Date de formation au risque LASER	Date de la visite médicale initiale	Date de la dernière visite médicale	Date de l'habilitation
DURANT	Marie	2021	LALI_0026_2013	20/05/18	18/04/13	15/02/18	24/05/18
DUPONT	Pierre	2035	LALI_0056_2012	20/05/18	06/06/15	08/05/18	24/05/18
BLANC	Jean	2156	LALI_0089_2015	16/11/17	12/12/14	12/12/18	25/11/17

Fait le

Signature du directeur/de la directrice de l'unité

La présente fiche est faite en application de l'article R.4452-23 du code du travail.

Unité Employeur Année Date de la visite médicale initiale

Nom Prénom Matricule Date de la dernière visite médicale

SITUATION NORMALE DE TRAVAIL

Locaux fréquentés	Installation et nature de l'activité	Classe*	Longueur d'onde (nm)	Mode continu	Mode impulsionnel			Marquage des lunettes de protection	Référence de la notice de poste	Fréquence d'exposition	VLE* (W.m ⁻² ou J.m ⁻²)	Niveau d'exposition au poste* (W.m ⁻² ou J.m ⁻²)	Résultats de mesurages** (W.m ⁻² ou J.m ⁻²)
				Puissance (W)	Fréquence (Hz)	Énergie (J)	Durée de l'impulsion (s)						

* Calculé par LISA ** Facultatif

EXPOSITION ACCIDENTELLE La saisie de cette partie ne remplace pas la déclaration de l'accident de travail auprès de l'employeur.

Date	Installation et nature de l'activité	Classe*	Longueur d'onde (nm)	Mode continu	Mode impulsionnel			Marquage des lunettes de protection	Référence de la notice de poste	Description succincte de l'accident	Estimation de la durée de l'exposition accidentelle
				Puissance (W)	Fréquence (Hz)	Énergie (J)	Durée de l'impulsion (s)				

IMPORTANT : Cette fiche est à mettre à jour en fonction des modifications des installations, de la nature de l'activité et obligatoirement avant chaque visite médicale. Les notices de poste référencées peuvent être jointes et archivées avec cette fiche.

Fait le

Signature du directeur/de la directrice de l'unité

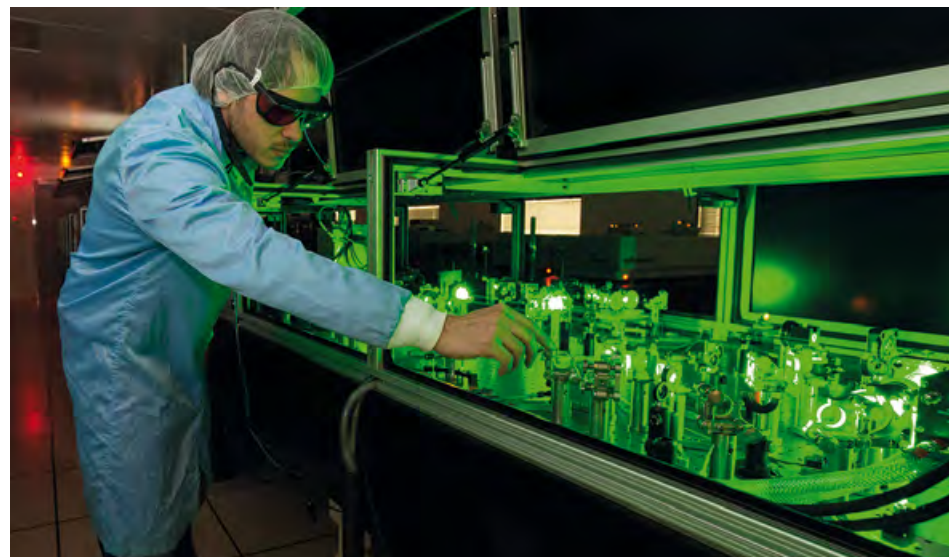
Visa de l'agent

Consignes générales d'utilisation des lasers

Cette fiche regroupe la majorité des consignes générales d'utilisation de lasers et d'appareils lasers quelle que soit leur classe de danger.

- Connaître le trajet du ou des faisceau(x) laser et les caractéristiques de la source.
- Ne pas porter de lentilles de contact lors de l'utilisation de laser. Cela peut entraîner des complications graves en cas d'accident laser.
- Ne jamais diriger volontairement le faisceau vers une personne ou vers ses yeux.
- Porter des lunettes de protection adaptées aux caractéristiques des faisceaux laser mis en œuvre lorsque les VLE sont dépassées.
- Ne pas porter de vêtements à manches amples pouvant accrocher des instruments d'optique.
- Enlever tout objet réfléchissant (montre, bijou, alliance, stylo, boucle de ceinture, vêtement avec fermeture éclair métallique).
- Protéger les bagues qui ne peuvent être retirées par un gant ou un ruban adhésif non réfléchissant.
- En l'absence de dispositif de gestion technique des accès (interphone), frapper et attendre que quelqu'un autorise l'accès dans la salle laser.
- Utiliser un laser de classe 1 ou 2 pour les alignements chaque fois que possible.
- Atténuer le faisceau au maximum (filtres, diaphragme...) chaque fois que l'émission maximale n'est pas nécessaire.
- S'assurer que personne n'est dans une zone à risque avant toute manipulation. Lors des phases de réglage, il est nécessaire de communiquer entre intervenants.
- À chaque fois qu'un instrument d'optique doit être déplacé, s'assurer que le faisceau est bloqué et que l'élément permettant de bloquer le faisceau est fixé correctement.

- Limiter le nombre de personnes présentes lors de l'utilisation.
- Éviter de se baisser lorsqu'un laser est en fonctionnement. En cas d'obligation, bloquer le faisceau ou, en cas d'impossibilité, tourner le dos au faisceau.
- Ne pas laisser en fonctionnement les sources laser d'une installation lors de visite de laboratoire.
- Connaître les consignes d'urgence en cas d'accident laser (dans les salles où sont manipulés des lasers de classe 3 et 4, l'unité doit prévoir avec le médecin de prévention un protocole devant être affiché, indiquant en particulier les procédures pour le transport de la victime, ainsi que les coordonnées du médecin de prévention, de l'AP et du RSL.).
- Ne jamais laisser un laser en fonctionnement sans surveillance.



© Jérémie BARANDE/Ecole Polytechnique/LOA/CNRS Photothèque

NOTICE DE POSTE

Référence : *à compléter*

Mise à jour : *à compléter*

Nom de l'installation : *à compléter*

Nom ou n° de la salle : *à compléter*

CARACTÉRISTIQUES LASER

Classe						
Longueur d'onde (nm)						
Mode (D/I/R/M)						
Puissance/VLE						

RISQUE LASER AU POSTE DE TRAVAIL



Indiquer précisément la nature du/des risque(s), la phase de travail pendant laquelle il y a un risque d'exposition.

RISQUES ASSOCIÉS



Indiquer succinctement la nature du/des dangers/risque(s), la phase de travail pendant laquelle il y a un risque d'exposition.

A sélectionner (Liste non exhaustive) :

- Risque chimique (*préciser le ou les produits chimiques*)
- Risque électrique (*préciser l'équipement, la tension et l'intensité*)
- Risque d'incendie (*préciser la source possible*)
- Risque de rayonnements induits (*préciser la source*)
- Risque lié au bruit (*préciser la source*)
- Risque d'anoxie (*préciser la source*)
- Risque de brûlure chaud / froid (*préciser la source*)

CONSIGNES DE SÉCURITÉ À RESPECTER



Indiquer : un mode opératoire précis à suivre, les équipements de protection individuelle (en particulier le modèle de lunettes de sécurité lasers) ou collective, des paramètres à surveiller, des interdictions à respecter, des matériels à utiliser spécifiques au type d'expérience...

Date

Référent sécurité laser
(nom, signature)
.....

Assistant de prévention
(nom, signature)
.....

Responsable de l'installation
(nom, signature)
.....

Directeur/directrice de l'unité
(nom, signature)
.....

NOTICE DE SALLE

Référence : *à compléter*

Mise à jour : *à compléter*

Nom du local : *à compléter*

N° de la salle : *à compléter*

RISQUES PRÉSENTS					
<i>Sélectionner les risques présents dans le local (Liste non exhaustive).</i>					

ACCÈS RÉSERVÉ AUX PERSONNELS HABILITÉS *(à compléter)*

	<i>Pierre DURAND</i>		
	<i>Marc DUPONT</i>		
	<i>Cécile BOUTIN</i>		

CONDUITE À TENIR (SIGNALISATION)*

	ACCÈS INTERDIT	
	ACCÈS LIMITÉ : LASER en fonctionnement non protégé	<i>Préciser le modèle des lunettes de sécurité à porter</i>
	ACCÈS LIMITÉ : LASER en fonctionnement protégé	<i>Préciser le modèle des lunettes de sécurité à porter</i>
	ACCÈS LIBRE : LASER éteint	

* Cas recommandé d'une verrine à 4 couleurs.
À adapter à la situation rencontrée pour la salle.

Date

Référent sécurité laser
(nom, signature)
.....

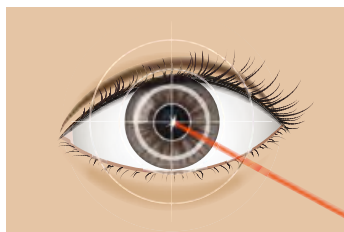
Assistant de prévention
(nom, signature)
.....

Responsable de l'installation
(nom, signature)
.....

Directeur/directrice de l'unité
(nom, signature)
.....

• IMPACT OU SUSPICION D'IMPACT OCULAIRE

Certains signes cliniques peuvent faire évoquer un impact oculaire par un laser : une douleur oculaire, une sensation de sable dans les yeux, un trouble visuel, un éblouissement fugace...

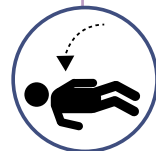


© Adobe stock 189296027

Les premières mesures à mettre en œuvre :



- Arrêter l'installation laser.

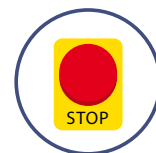


- Mettre la personne en position allongée afin d'éviter tout risque de saignement, d'hémorragie rétinienne ou intra oculaire.
- Protéger l'oeil par une compresse stérile ou un pansement propre.

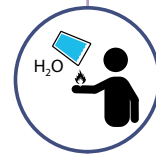


- Prévenir les secours (15 ou 112) : un avis médical ophtalmologique urgent est indispensable.

• BRÛLURE CUTANÉE



- Arrêter l'installation laser.



- Rincer la brûlure avec de l'eau courante tempérée pendant au minimum 10 minutes.
- Recouvrir la brûlure d'une compresse stérile ou d'un pansement propre.



- Prévenir les secours (15 ou 112) qui jugeront de la nécessité d'un transport vers un service d'urgence.

Dans tous les cas

Dans l'attente des secours, recueillir les informations utiles, *a minima* :

- L'heure de l'accident.
- Le type de laser et la puissance au moment de l'impact.



- Si besoin, recouvrir la victime d'une couverture de survie pour éviter l'hypothermie.
- Prévenir le médecin de prévention.
- Informer le référent sécurité laser et/ou l'assistant de prévention.



- Réaliser une déclaration d'accident de travail.

L'utilisation d'un laser en extérieur se distingue par une difficulté supplémentaire : le capotage du faisceau est compliqué voire impossible.

Une attention particulière doit être portée pour les faisceaux émis dans le domaine du visible. Outre les lésions provoquées par le dépassement des VLE, ces faisceaux peuvent provoquer l'éblouissement des pilotes (et mettre en danger les vols aériens), des conducteurs...

Il existe 3 cas de figure d'utilisation d'un laser en extérieur :

- Tir du sol vers le ciel (cas le plus fréquent).
- Tir du ciel vers le sol ou la mer, par exemple à partir d'un aéronef, drone inclus.
- Tir horizontal au sol.



© Thibaut VERGOZ/OSU - Réunion / CNRS Photothèque

1. L'évaluation des risques

Pour les lasers de classe supérieure à la classe 2, l'évaluation des risques d'un tir réalisé en extérieur doit aboutir à définir une zone d'exclusion, matérialisée par un balisage et, si nécessaire, complétée par une gestion des accès. Les éléments à prendre en compte pour cette évaluation du risque sont :

- La distance nominale de risque oculaire du faisceau laser (DNRO).
- L'angle de tir par rapport au sol, également appelé « angle de propagation au sol ».
- La hauteur du tir par rapport au sol ou à la mer.

Lorsque la source d'émission est mobile, la zone d'exclusion doit également tenir compte de l'étendue du déplacement :

- Le plan de vol pour les aéronefs (ex : système laser aéroporté pour réalisation d'un modèle numérique de terrain – MNT).
- Le plan de route ou itinéraire pour les véhicules routiers ou bateaux.

Par ailleurs, pour les aéroports, les aérodromes et les héliports, l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI) définit des zones de vol sensibles :

- La zone de vol sans danger de faisceau laser (LFFZ).
- La zone de vol critique en ce qui concerne les faisceaux laser (LCFZ).
- La zone de vol sensible aux faisceaux laser (LSFZ).

2. La prévention : balisage en extérieur et surveillance de la zone pendant le tir

En extérieur, le faisceau laser peut couvrir une très grande distance (ex : mesures de photosynthèses en extérieur depuis le sol, mesures atmosphériques depuis le sol). Ainsi, après calcul de la DNRO, il convient de délimiter la zone de risque afin de contrôler le nombre de personnes susceptibles d'être exposées dans un cadre professionnel et de garantir l'absence d'exposition du public.

Pour les tirs réalisés à l'horizontal et lorsque la zone est trop étendue (DNRO de plusieurs centaines de mètres), le balisage de la zone peut être considérablement restreint en installant l'appareil à laser à une hauteur suffisante par rapport au sol (3 m par exemple). La surveillance de zone consistera alors à s'assurer que personne ne soit présent à hauteur de tir et dans l'axe ou le plan du faisceau.

Pour les tirs réalisés du sol vers le ciel, l'angle de propagation au sol permet de limiter la zone d'exclusion à la zone à partir de laquelle la hauteur du laser par rapport au sol ne permet plus une exposition accidentelle du public. En complément, et si nécessaire, la mise en œuvre de protections virtuelles redondantes (asservissement de l'émission laser à un système de détection radar adapté - portée maximale de 12 miles nautiques - et un système de surveillance coopératif de type ADS-B) doit assurer la sécurité des aéronefs en vol pour la circulation aérienne générale (CAG)*, en particulier à proximité des zones de vols sensibles telles que définies précédemment.

Pour les tirs réalisés du ciel vers le sol ou la mer, l'altitude de vol par rapport à la DNRO ne doit pas permettre une exposition du public au sol.



© Marc FOURMENTIN/CNRS Photothèque

3. Les démarches administratives

DANS LES ÉTABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

Lorsqu'un tir extérieur est prévu au sein d'un ERP (cas de la quasi-totalité des établissements d'enseignement supérieur et de recherche), il est nécessaire d'obtenir l'autorisation du maire et de respecter la réglementation ERP. Les contraintes varient en fonction de l'angle d'émission au sol : notamment, une zone de 5 m minimum autour de la source interdisant l'accès au public doit être délimitée.

Dans tous les cas, il est nécessaire de déposer un dossier de demande, disponible en mairie, précisant :

- le lieu et nature de la manifestation ou de l'activité,
- la date, le début et la durée de la manifestation ou de l'activité,
- le nom et l'adresse de l'organisateur,
- le lieu et les heures d'utilisation des appareils à laser,
- la classification des appareils à laser utilisés,

- le plan du site avec indication de la zone réservée au public et de toutes les distances de sécurité, et la description du tir laser avec sa direction,
- les nom et coordonnées de la personne responsable sur les lieux de la manifestation ou de l'activité.

AUPRÈS DE LA DIRECTION DE LA SÉCURITÉ DE L'AVIATION CIVILE (DSAC)

La direction générale de l'aviation civile (DGAC), service de compétence nationale, est divisée en zone de compétence territoriale et il convient de s'adresser à la DSAC territoriale compétente.

Lorsque le résultat de l'évaluation des risques (étude d'impact) ne permet pas de garantir la sécurité des vols aériens, en particulier à proximité des 3 zones de vol définies précédemment, il appartient aux utilisateurs de faire une demande d'autorisation. Néanmoins, quel que soit le résultat de l'évaluation des risques, il est recommandé aux utilisateurs de se rapprocher de la DSAC compétente.

Cette demande d'autorisation doit être portée par le directeur d'unité, signataire de la demande, et doit également être visée par le délégué régional pour les unités hébergées par le CNRS.

La demande d'autorisation doit être constituée d'une étude d'impact pour l'utilisation d'un laser en extérieur réalisée dans le cadre d'un programme de recherche. Elle doit être adressée à minima 3 semaines avant le premier tir. Le défaut de réponse vaut refus.

Bien que l'appendice A du manuel sur les émetteurs laser et la sécurité des vols** édité en 2003 par l'OACI propose un modèle de notification d'activité de laser en plein air, il n'existe pas de document type réglementaire pour le territoire français. Toutefois, l'étude d'impact doit être la plus complète possible afin de permettre aux services de la DSAC compétente d'évaluer la demande et d'interroger les différents services de contrôle civils ou militaires pouvant être impactés. L'étude doit intégrer les éléments suivants selon le cas :

- l'identité du demandeur, son laboratoire et la nature du tir,
- la justification scientifique,

- le programme de tir(s) : la date, le créneau horaire, la durée d'utilisation (préciser s'il s'agit d'un tir permanent),
- la position géographique (coordonnées GPS en WGS84 DMS), les orientations et les angles de tir,
- les distances calculées par rapport aux 3 zones de vol, idéalement à l'aide d'un plan de situation,
- le plan de vol si le tir laser est réalisé depuis un aéronef (drone inclus) ou l'itinéraire pour les véhicules routiers et bateaux,
- la classe et l'EMP du faisceau, la longueur d'onde (en nm), la DNRO (en mètre et en pied, aussi appelée NOHD dans le vocabulaire de l'OACI) ainsi que, pour les lasers continus, la puissance (en W) et pour les lasers impulsionsnels, l'énergie (en J), la fréquence (en Hz), la durée de l'impulsion (en s), voire la fréquence des salves.

ATTENTION

Lorsque le tir laser en extérieur est réalisé à la limite de deux zones de compétence de DSAC ou lorsque le plan de vol (ou l'itinéraire) inclut deux ou plusieurs zones territoriales de compétence de DSAC, il convient de réaliser la demande d'autorisation auprès de chaque DSAC territoriale concernée.

De même, dans le cas où le tir, réalisé depuis un véhicule, un avion, un bateau... est susceptible d'être émis dans un pays limitrophe de la France, il convient de s'assurer de la réglementation du pays concerné en la matière.

Selon le résultat de l'évaluation des risques, la VLE calculée à des altitudes pertinentes selon la situation géographique (correspondant à une exposition professionnelle au poste de pilotage d'un aéronef) peut également être précisée.

Après étude, la DSAC peut délivrer trois réponses :

- un refus motivé,
- une autorisation de tirs selon les conditions détaillées dans l'étude d'impact réalisée par l'utilisateur,
- une autorisation assortie de restrictions (horaires, orientations...).

De plus, l'autorisation de tir peut faire l'objet d'une publication aéronautique temporaire, appelée NOTAM (Notice for Airmen), permettant d'informer les pilotes de l'opération projetée. Pour des raisons de sécurité, les autorités peuvent également exiger l'interruption de l'émission du faisceau à tout moment si elles le jugent nécessaire.

L'obtention de cette autorisation n'est pas systématique et peut s'avérer difficile. De plus, il appartient au demandeur de toujours s'assurer que la mise en œuvre d'un laser en extérieur, en particulier dans le domaine visible, ne représente pas un danger potentiel pour l'aviation civile et militaire.



© Alexis GRATTE/Université Jean Moulin Lyon 3/CNRS Photothèque

* FRA.7024 alinéa e de l'arrêté du 11 décembre 2014 relatif à la mise en œuvre du règlement d'exécution (UE) n°923/2012 mais également dans le respect de l'article 68 de la loi n° 2011-267 du 14 mars 2011 d'orientation et de programmation pour la performance de la sécurité intérieure.

** DOC 9815 AN/447. Ce document s'appuie sur les référentiels CEI 60825-1 : 1993+AMD1 : 1997 CSV (version consolidée en 1998) et ANSI Z136-1 : 2000 révisés par de nombreuses versions ultérieures.

Coordination nationale de prévention et de sécurité

1, place Aristide-Briand - 92195 Meudon Cedex

Tél. : 01 45 07 54 88

Mail : cnps@cnrs.fr