

# 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 <sup>(1)</sup> | 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  | !!                             | !!                                  | !!                | !!               |

<sup>(1)</sup> 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  $\Delta t$  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<br>(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

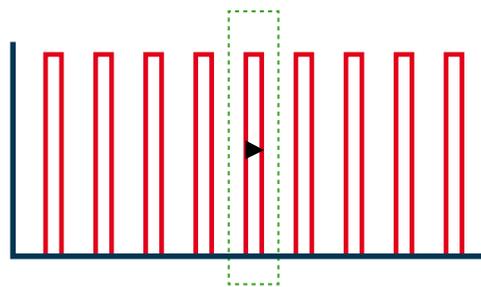
- Cas N° 2 : Dans le cas d'un laser impulsif à impulsion unique, la durée d'exposition  $\Delta t$  correspond à la durée de l'impulsion ( $t_{imp}$ , durée à mi-hauteur).

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.

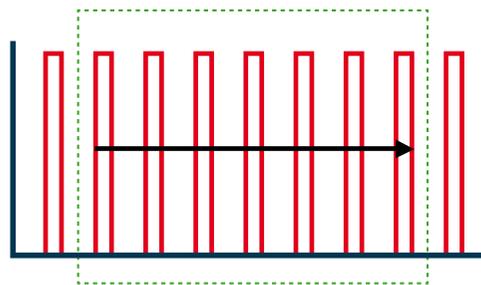
a. L'exposition induite par une impulsion est inférieure à la VLE d'une impulsion.

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<sup>er</sup> 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\*

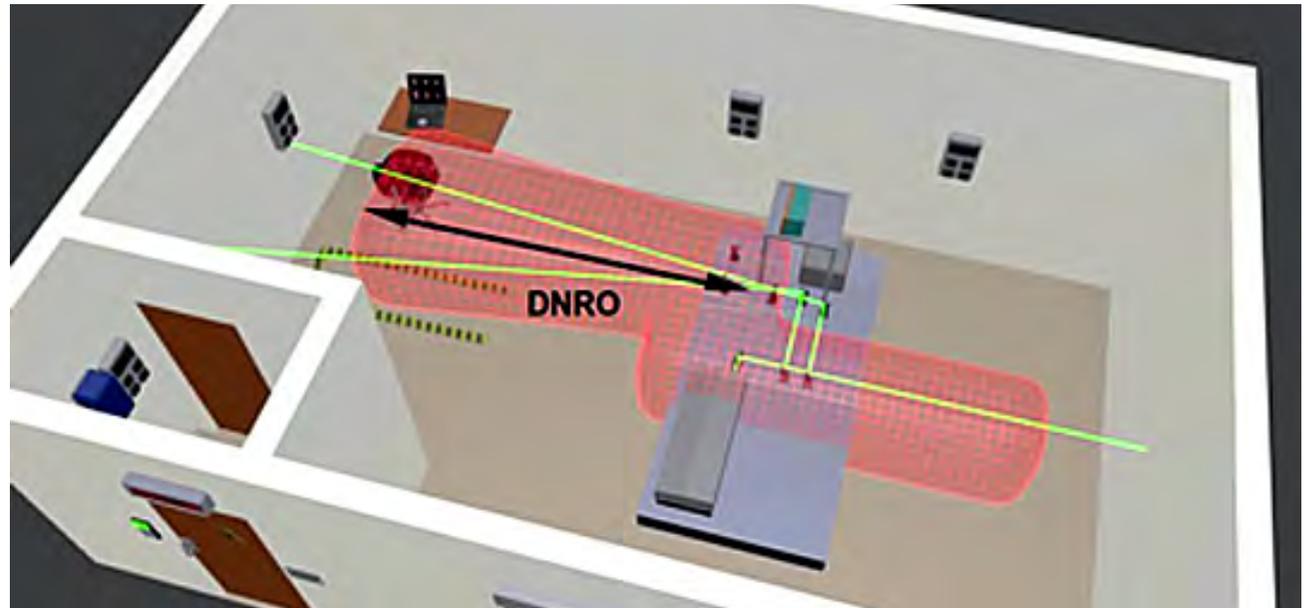
La distance nominale de risque oculaire (DNRO) est une caractéristique du faisceau laser qu'il est nécessaire de connaître pour procéder à une évaluation fine du risque que présente une installation.

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<sub>diff</sub>). Il est également possible de définir une DNRO pour les faisceaux diffus, on parle de DNRO<sub>diff</sub>.

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<sub>diff</sub> 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.