

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

60825-1

1993

AMENDEMENT 1
AMENDMENT 1

1997-09

PUBLICATION GROUPEE DE SÉCURITÉ
GROUP SAFETY PUBLICATION

Amendement 1

Sécurité des appareils à laser –

Partie 1:

**Classification des matériels, prescriptions
et guide de l'utilisateur**

Amendment 1

Safety of laser products –

Part 1:

**Equipment classification, requirements
and user's guide**

© IEC 1997 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

L

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le comité d'études 76 de la CEI: Sécurité des rayonnements optiques et matériels laser.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
76/157/FDIS	76/165/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cet amendement.

Page 48

8.2 Mesure des niveaux de rayonnement laser en vue de déterminer la classification

Ajouter, à la fin du second alinéa du point c) le texte suivant:

, avec l'exception des cas couverts par 8.2 f) et 8.2 h),

Remplacer, à la page 50, le texte du point f) par ce qui suit:

f) Pour les sources dont l'angle apparent α (déterminé à une distance qui ne soit pas inférieure à 100 mm) est inférieur ou égal à 1,5 mrad, et dont la longueur d'onde est comprise dans la gamme de 400 nm à 1 400 nm, en mesurant la puissance rayonnante (W) ou l'énergie rayonnante (J) détectable à travers un diaphragme de forme circulaire ayant un diamètre de 50 mm (de manière à simuler la collecte par un instrument d'optique d'un faisceau laser stationnaire).

NOTE – Le diamètre apparent α d'une source apparente est déterminé au point de l'accès humain le plus proche, mais pas à moins de 100 mm. Toutes les dimensions angulaires supérieures à $\alpha_{\max}$ doivent être limitées à $\alpha_{\max}$, et toutes les dimensions angulaires inférieures à 1,5 mrad doivent être limitées à 1,5 mrad.

Pour les autres sources dont la longueur d'onde est comprise dans la gamme de 302,5 nm à 4 000 nm, cette valeur de diamètre du diaphragme s'applique quelque soit l'angle apparent de la source.

Dans les cas où, pour des raisons de conception technique, le diaphragme ne peut être placé à une distance de 14 mm de la source apparente (par exemple une source encastrée), la distance entre le diaphragme de 50 mm et la source apparente, doit être 7,14 fois la distance entre la source apparente et le point d'accès humain le plus proche (de manière à simuler un diaphragme de 7 mm placé au point d'accès humain le plus proche). Cependant, la distance entre le diaphragme de 50 mm et le point d'accès humain le plus proche ne doit pas excéder 2 m.

De manière à éliminer la collecte d'un rayonnement diffusé errant, dans le cas des faisceaux collimatés ayant une divergence inférieure à 5 mrad, le diaphragme de 50 mm doit être placé à une distance de 2 m de l'ouverture de sortie du faisceau.

FOREWORD

This amendment has been prepared by IEC technical committee 76: Optical radiation safety and laser equipment.

The text of this amendment is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
76/157/FDIS	76/165/RVD

Full information on the voting for the approval of this amendment can be found in the report on voting indicated in the above table.

Page 49

8.2 Measurement of laser radiation for determining classification

Add, at the end of the second paragraph of item c), the following text:

, with the exception of those cases covered by 8.2 f) and 8.2 h).

Replace, on page 51, the text of item f) by the following text:

f) For apparent sources subtending an angle, α (determined at a distance not less than 100 mm), of less than or equal to 1,5 mrad, and within the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm, by measuring the radiant power (W) or radiant energy (J) detectable through a circular measurement aperture of 50 mm diameter (to simulate the collection by an optical instrument of a stationary laser beam).

NOTE – The angle α subtended by the apparent source is determined at the nearest point of human access, but not less than a free air distance of 100 mm. Any angular dimension that is greater than $\alpha_{\max}$ shall be limited to $\alpha_{\max}$, and any angular dimension that is less than 1,5 mrad shall be limited to 1,5 mrad.

For other sources within the wavelength range from 302,5 nm to 4 000 nm, this aperture diameter applies for any angular subtense of the source.

In cases where, by virtue of engineering design, the closest point of human access is greater than a distance of 14 mm from the apparent source (e.g. recessed source), the distance of the 50 mm aperture from the apparent source shall be 7,14 times the distance from the apparent source to the closest point of human access (to simulate a 7 mm aperture placed at the closest point of human access). However, the distance of the 50 mm aperture from the closest point of human access shall not be more than 2 m.

To eliminate collection of errant scattered radiation, for collimated beams having a divergence less than 5 mrad, the 50 mm aperture shall be placed at a distance of 2 m from the beam exit aperture.

Remplacer, à la page 50, le premier alinéa du point h) par ce qui suit:

h) Pour les sources dont l'angle apparent α (déterminé à une distance qui ne soit pas inférieure à 100 mm) (voir la note du point f)) est supérieur à 1,5 mrad, et dont la longueur d'onde est comprise dans la gamme de 400 nm à 1 400 nm, en mesurant la puissance rayonnante (W) ou l'énergie rayonnante (J) détectable à travers un diaphragme de forme circulaire ayant un diamètre de 7 mm situé à la distance r de la source fonction du diamètre apparent α (compris entre un minimum de 1,5 mrad et un maximum de $\alpha_{\max} = 100$ mrad) de la source.

La distance r , entre le diaphragme de 7 mm et la source apparente, est déterminée par:

$$r = 100 \sqrt{\frac{\alpha + 0,46 \text{ mrad}}{\alpha_{\max}}} \text{ mm}$$

Dans le cas où, pour des raisons de conception technique, le diaphragme ne peut être placé à la distance r (par exemple une source encastrée), la distance minimale de mesure doit être au point d'accès humain le plus proche.

Autrement, si un diaphragme de 7 mm peut être placé à une distance r de la source apparente, les mesures peuvent être faites avec un diaphragme circulaire ayant un diamètre entre 7 mm et 50 mm fonction du diamètre apparent α de la source (compris entre un minimum de 1,5 mrad et un maximum de $\alpha_{\max} = 100$ mrad). Ce diaphragme doit être placé à une distance de 100 mm de la source apparente.

Le diamètre d du diaphragme est déterminé par:

$$d = 7 \sqrt{\frac{\alpha_{\max}}{\alpha + 0,46 \text{ mrad}}} \text{ mm}$$

Remplacer, à la page 50, le dernier alinéa du point h) par ce qui suit:

Pour le calcul de la LEA, la valeur du diamètre apparent d'une source rectangulaire ou linéaire est déterminée par la moyenne arithmétique des deux dimensions angulaires de la source. Pour toutes les dimensions angulaires supérieures à $\alpha_{\max}$ ou inférieures à 1,5 mrad, il convient de les limiter à $\alpha_{\max}$ ou à 1,5 mrad respectivement avant de calculer la moyenne.

Page 52

9.3 Procédure de classification

Remplacer, à la page 54 le texte du point e) par ce qui suit:

e) Base de temps

Les bases de temps suivantes sont utilisées dans la présente norme:

- 1) 0,25 s pour les rayonnements laser de classe 2 et 3A dans la gamme de longueur d'onde de 400 nm à 700 nm comme mentionné dans les tableaux 2 et 3 respectivement;
- 2) 100 s pour tous les rayonnements laser de longueurs d'ondes supérieures à 400 nm, à l'exception des cas mentionnés en a) et c);
- 3) 30 000 s pour les rayonnements laser dont les longueurs d'ondes sont inférieures ou égales à 400 nm et pour les rayonnements laser dont les longueurs d'ondes sont supérieures à 400 nm lorsque la conception ou la fonction de l'appareil à laser comporte une vision intentionnelle sur une longue période.

Replace, on page 51, the first paragraph of item h) by the following text:

h) For apparent sources subtending an angle, α (determined at a distance not less than 100 mm; (see note in f) above), greater than 1,5 mrad and within the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm, by measuring the radiant power (W) or radiant energy (J) detectable through a circular measurement aperture of 7 mm diameter positioned at a distance r from the source, depending upon the angular subtense α (between a minimum of 1,5 mrad and a maximum of $\alpha_{\max} = 100$ mrad) of the source.

The distance r of the 7 mm measurement aperture from the apparent source is determined by:

$$r = 100 \sqrt{\frac{\alpha + 0,46 \text{ mrad}}{\alpha_{\max}}} \text{ mm}$$

In cases where, by virtue of engineering design, the measurement aperture cannot be placed at a distance r (e.g., recessed source), the minimum measurement distance shall be at the closest point of human access.

Alternatively, if a 7 mm aperture could be placed within a distance r from the apparent source, measurements can be made with a circular aperture having a diameter d between 7 mm and 50 mm depending upon the angular subtense α (between a minimum of 1,5 mrad and a maximum of $\alpha_{\max} = 100$ mrad) of the source. This aperture shall be placed at a distance of 100 mm from the apparent source.

The diameter d of the measurement aperture is determined by:

$$d = 7 \sqrt{\frac{\alpha_{\max}}{\alpha + 0,46 \text{ mrad}}} \text{ mm}$$

Replace, on page 51, the last paragraph of item h) by the following text:

For the determination of the AEL, the value of the angular subtense of a rectangular or linear source is determined by the arithmetic mean of the two angular dimensions of the source. Any angular dimension that is greater than $\alpha_{\max}$ or less than 1,5 mrad should be limited to $\alpha_{\max}$ or 1,5 mrad respectively, prior to determining the mean.

Page 53

9.3 Classification procedures

Replace, on page 55, the text of item e) by the following text:

e) Time basis

The following time bases are used in this standard:

- 1) 0,25 s for class 2 and class 3A laser radiation within the wavelength range from 400 nm to 700 nm as determined by tables 2 and 3, respectively;
- 2) 100 s for laser radiation of all wavelengths greater than 400 nm except for the cases listed in a) and c);
- 3) 30 000 s for laser radiation of all wavelengths less than or equal to 400 nm, and for laser radiation of wavelengths greater than 400 nm where intentional long-term viewing is inherent in the design or function of the laser product.

Page 90

Paragraphe 13.4.1

Insérer, au début de la deuxième phrase, avant «Dans la gamme de longueurs d'onde», le texte suivant:

Pour des expositions oculaires

Page 92

Paragraphe 13.4.2

Remplacer le dernier alinéa par ce qui suit:

Pour le calcul de l'EMP, la valeur du diamètre apparent d'une source rectangulaire ou linéaire est déterminée par la moyenne arithmétique des deux dimensions angulaires de la source. Pour toutes les dimensions angulaires supérieures à $\alpha_{\max}$ ou inférieures à 1,5 mrad, il convient de les limiter à $\alpha_{\max}$ ou à 1,5 mrad respectivement avant de calculer la moyenne.

Page 94

Tableau 6

Supprimer, dans le titre, le terme «directe».

Page 114

Annexe A – Exemples de calculs

Remplacer, à la page 124, le texte existant de l'exemple A.2-4 par le nouveau texte suivant:

Trouver l'EMP applicable à une vision dans le faisceau d'une durée de 10 s à 1 m de distance d'une source complexe d'un réseau de diodes laser Ga-As (905 nm). La source se compose de deux rangées de 10 diodes qui sont montées chacune derrière une optique de collimation. La source a une puissance de sortie de 6 W et une fréquence de répétition des impulsions, F , de 12 kHz. La durée d'impulsion est de 80 ns. L'ouverture de sortie (lentille de collimation) a un diamètre de 5 cm et le faisceau émergeant a un diamètre de 3,5 cm aux points où l'éclairement énergétique est réduit à la fraction $1/e$ de sa valeur sur l'axe (c'est-à-dire qu'une ouverture circulaire de mesure de 3,5 cm collecterait 63 % de la puissance du faisceau). L'éclairement énergétique moyen du faisceau axial à une distance de 1 m est de $3,6 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. La divergence du faisceau est de 25 mrad horizontalement et de 3 mrad verticalement, et à une distance de 1 m de l'ouverture de sortie, la dimension du faisceau est approximativement 3,0 cm par 3,8 cm respectivement.

Une photographie dans le faisceau (à film infrarouge) prise à une distance de 1 m de l'ouverture de sortie montre que chaque diode sous-tend une image projetée linéaire de 2,2 mrad longitudinalement et de moins de 0,5 mrad transversalement. L'écart centre à centre entre chaque diode est un angle de 3,0 mrad et les deux rangées sont séparées par un angle de 2,3 mrad (voir figure A.1). En utilisant un convertisseur d'image à infrarouge avec un filtre de densité optique de 4 pour réduire l'éblouissement, on a constaté que ces angles d'écartement sont constants pour toutes les distances de vision entre 10 cm et 2 m (ce phénomène est expliqué dans le chapitre 15 de l'ouvrage de Sliney and Wolbarsht, *Safety with Lasers and other Optical Sources*, New York: Plenum Publishing Co., 1980).

Page 91

Subclause 13.4.1

Insert, at the beginning of the second sentence before "In the wavelength range..." the following new text:

For ocular exposure

Page 93

Subclause 13.4.2

Replace the last paragraph by the following:

For the determination of the MPE, the value of the angular subtense of a rectangular or linear source is determined by the arithmetic mean of the two angular dimensions of the source. Any angular dimension that is greater than $\alpha_{\max}$ or less than 1,5 mrad should be limited to $\alpha_{\max}$ or 1,5 mrad respectively, prior to determining the mean.

Page 95

Table 6

Delete, in the title, the word "direct."

Page 115

Annex A – Examples of calculations

Replace, on page 125, the existing text of example A.2-4 by the following new text:

Find the MPE applicable to intrabeam viewing for a 10 s exposure at a distance of 1 m from a complex Ga-As (905 nm) laser diode array source. The source consists of two rows of 10 diodes each that are mounted behind collimating optics. The source has an output power of 6 W and a pulse repetition frequency F of 12 kHz. The pulse duration is 80 ns. The exit aperture (collimating lens) is 5 cm in diameter and the emergent beam diameter is 3,5 cm at the 1/e peak irradiance points (i.e., a 3,5 cm circular measurement aperture would collect 63 % of the beam power). The axial beam irradiance (average) at a distance of 1 m is $3,6 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. The beam divergence is 25 mrad horizontally by 3 mrad vertically, and at a distance of 1 m from the exit aperture, the beam size is approximately 3,0 cm by 3,8 cm, respectively.

An intrabeam photograph (using infrared film) taken at a distance of 1 m from the exit aperture reveals that each diode subtends a projected line image 2,2 mrad long and less than 0,5 mrad across. Each diode is separated by an angle of 3,0 mrad centre-to-centre, and the two rows are separated by an angle of 2,3 mrad (see figure A.1). Using an infrared image converter with an OD 4 filter to reduce glare, it is revealed that these angular separations are constant from all viewing distances between 10 cm and 2 m (this behaviour is explained in chapter 15 of Sliney and Wolbarsht, *Safety with Lasers and other Optical Sources*, New York: Plenum Publishing Co., 1980).

Solution

L'EMP applicable à l'ensemble de diodes laser est l'EMP la plus restrictive résultant de l'évaluation de chaque source prise individuellement et de chaque groupement possible de diodes de l'ensemble. Cependant, il est possible de simplifier considérablement l'évaluation en utilisant l'hypothèse la plus prudente, à savoir que toute la puissance radiante proviendrait d'une seule source ponctuelle. Cela exagérerait toujours le risque, et si cela n'engendrait pas des mesures de contrôle trop restrictives, il ne serait pas nécessaire d'effectuer l'analyse plus complexe d'une source étendue.

La détermination de l'EMP applicable (la plus restrictive) exige une approche par tâtonnements, puisque l'EMP est calculé pour une seule diode, deux diodes adjacentes, un groupement de trois et quatre, etc., et finalement le réseau entier de diodes; en admettant dans chaque cas que la puissance ou l'énergie est moyennée sur un diamètre apparent, α , applicable à ce groupement. Il est utile de tracer une cartographie de la source pour étudier les différentes combinaisons possibles de diodes (voir figure A.1). En complément des groupements, le diamètre apparent applicable est différent selon que le cas limite est l'EMP d'une impulsion individuelle réduite par le facteur de correction pour impulsions répétitives, C_5 , dans ce cas $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad, ou est l'EMP pour le train d'impulsions, dans ce cas, $\alpha_{\min} = 11$ mrad. Le nombre total d'impulsions N pour une exposition de 10 s est de 120 000.

L'EMP pour une impulsion unique pour l'évaluation pour des impulsions multiples est donnée par l'expression suivante (en utilisant le tableau 6 pour une durée d'impulsion de 80 ns):

$$\begin{aligned} H_{\text{EMP,train}} &= C_5 \times 5 \times 10^{-3} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 120\,000^{-0,25} \times 5 \times 10^{-3} \times 2,57 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 6,9 \times 10^{-4} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

Pour comparer l'EMP pour une impulsion unique à l'éclairement énergétique moyen du faisceau, il est pratique d'exprimer l'EMP ci-dessus (exprimée en termes d'exposition énergétique) comme un éclairement énergétique moyen pour F impulsions par seconde comme suit:

$$\begin{aligned} E_{\text{EMP,train}} &= H_{\text{EMP,train}} \times F \\ &= 6,9 \times 10^{-4} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \times 1,2 \times 10^4 \text{ Hz} \\ &= 8,28 C_6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

L'EMP pour une impulsion unique pour l'évaluation de la puissance moyenne est donnée par l'expression suivante (en utilisant le tableau 6 pour une durée d'impulsion de 10 s):

$$\begin{aligned} H_{\text{EMP,moy}} &= 18 \times t^{0,75} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 18 \times 10^{0,75} \times 2,57 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 260 \times C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

L'EMP ci-dessus, exprimée en termes d'exposition énergétique, peut également être exprimée comme un éclairement énergétique moyen pour une durée d'exposition de 10 s comme suit:

$$\begin{aligned} E_{\text{EMP,moy}} &= H_{\text{EMP,moy}}/t \\ &= 260 \times C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} / (10 \text{ s}) \\ &= 26 \times C_6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

Solution

The MPE applicable to the laser diode array is the most restrictive MPE resulting from an evaluation of each individual source and each possible grouping of the array of diodes. However, the evaluation can be greatly simplified by using the conservative assumption that all the radiant power originates from a single point source. This would always overstate the hazard, and if it did not result in overly restrictive control measures, one would not have to perform the more complex analysis of the extended source.

The determination of the applicable (most restrictive) MPE requires a trial-and-error approach, since the MPE for a single diode, two adjacent diodes, a group of three or four, etc., and the entire array is to be calculated; recognizing that in each case the power or energy is averaged over the angular subtense α applicable to that grouping. It is useful to draw a map of the source to study different combinations of diodes (see figure A.1). In addition to grouping, the applicable angular subtense differs depending upon whether the limiting case is the MPE of an individual pulse reduced by the repetitive pulse correction factor, C_5 , in which case $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad, or is the MPE for the train of pulses, in which case $\alpha_{\min} = 11$ mrad. The total number of pulses N in a 10 s exposure is 120 000.

The single pulse MPE for the multiple-pulse assessment is given by (using table 6 for an 80 ns pulse) the following:

$$\begin{aligned} H_{\text{MPE,train}} &= C_5 \times 5 \times 10^{-3} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 120\,000^{-0,25} \times 5 \times 10^{-3} \times 2,57 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 6,9 \times 10^{-4} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

In order to compare the single pulse MPE with the average irradiance of the beam, it is convenient to express the above MPE (expressed in terms of radiant exposure) as an irradiance averaged over F pulses per second as follows:

$$\begin{aligned} E_{\text{MPE,train},F} &= H_{\text{MPE,train}} \times F \\ &= 6,9 \times 10^{-4} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \times 1,2 \times 10^4 \text{ Hz} \\ &= 8,28 C_6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

The single pulse MPE for the average power assessment is given by (using table 6 for a 10 s exposure) the following:

$$\begin{aligned} H_{\text{MPE,avg}} &= 18 \times t^{0,75} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 18 \times 10^{0,75} \times 2,57 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 260 \times C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

The above MPE, expressed as a radiant exposure, can also be expressed as an irradiance averaged over the 10 s exposure as follows:

$$\begin{aligned} E_{\text{MPE,avg}} &= H_{\text{MPE,avg}}/t \\ &= 260 \times C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} / (10 \text{ s}) \\ &= 26 \times C_6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

$E_{EMP,moy}$ peut être comparé directement avec l'éclairement énergétique moyen du faisceau sans aucune autre transformation.

Il est utile de faire une comparaison entre les valeurs d'éclairement énergétique moyen données par les deux différentes évaluations, c'est-à-dire $E_{EMP,train,F} = 8,28 C_6 W \cdot m^{-2}$ et $E_{EMP,moy} = 26 C_6 W \cdot m^{-2}$. Cette comparaison donne un résultat intéressant. Lorsque le rapport entre la valeur de C_6 pour l'évaluation pour des impulsions multiples et la valeur de C_6 pour l'évaluation de la puissance moyenne est inférieur à $26/8,28 = 3,14$, l'évaluation pour des impulsions multiples donne l'EMP la plus restrictive, ainsi $E_{EMP,train,F}$ est à utiliser pour calculer le facteur de risque. Dans le cas où ce rapport est supérieur à 3,14, la valeur à utiliser est $E_{EMP,moy}$.

Si le diamètre apparent α est inférieur ou égal à 1,5 mrad, le rapport décrit ci-dessus est 1, ainsi la valeur à utiliser est $E_{EMP,train,F}$. Si le diamètre apparent α est supérieur à 1,5 mrad et inférieur à 11 mrad, le rapport est $\alpha/(1,5 \text{ mrad})$. Par suite, si le diamètre apparent du groupement est inférieur à $3,14 \times 1,5 \text{ mrad} = 4,71 \text{ mrad}$, la valeur de l'EMP à utiliser est $E_{EMP,train,F}$ alors que si le diamètre apparent est supérieur à 4,71 mrad, la valeur de l'EMP à utiliser est $E_{EMP,moy,F}$. Si le diamètre apparent α est supérieur ou égal à 11 mrad, ce rapport est $11/1,5 = 7,33$, c'est pourquoi la valeur à utiliser est $E_{EMP,moy}$.

Ces résultats sont utiles pour simplifier les calculs du présent exemple. Sinon, il convient de comparer $E_{EMP,train,F}$ et $E_{EMP,moy}$ pour chaque groupement à évaluer.

Diode prise individuellement

Les diodes prises individuellement sous-tendent des angles de 0,5 mrad (verticalement) et 2,2 mrad (horizontalement). L'EMP pour les sources rectangulaires est déterminée par la moyenne arithmétique des deux diamètres apparents. Comme indiqué en 13.4.2, avant de déterminer la moyenne, il convient de remplacer tout diamètre apparent inférieur à 1,5 mrad ou supérieur à 100 mrad par 1,5 mrad ou 100 mrad respectivement. C'est pourquoi la moyenne est:

$$(1,5 + 2,2)/2 \text{ mrad} = 1,85 \text{ mrad}$$

Comme cette valeur est inférieure à 4,71 mrad, l'EMP la plus restrictive est donnée par l'évaluation pour des impulsions multiples. Cette valeur est supérieure à 1,5 mrad, c'est pourquoi la diode individuelle est considérée comme une source étendue et le facteur de correction est $C_6 = 1,85/1,5 = 1,23$. L'EMP applicable est:

$$E_{EMP,diode} = E_{EMP,train,F} = 8,28 \times 1,23 W \cdot m^{-2} = 10,2 W \cdot m^{-2}$$

Cette EMP n'est pas applicable à l'éclairement énergétique total, mais plutôt à l'éclairement énergétique de chaque diode individuelle. Considérant que toutes les diodes ont la même puissance d'émission, cette EMP est à comparer à l'éclairement énergétique total divisé par le nombre de diodes, c'est-à-dire 20.

$$E_{diode} = E_{total}/20 = 3\,600/20 W \cdot m^{-2} = 180 W \cdot m^{-2}$$

A une distance de 1 m, cette EMP est augmentée d'un facteur de $180/10,2 = 17,6$.

$E_{\text{MPE,avg}}$ can be compared directly with the average irradiance of the beam without any other transformation.

It is useful to make a comparison between the average irradiance values given by the two different assessment, i.e. $E_{\text{MPE,train,F}} = 8,28 C_6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ and $E_{\text{MPE,avg}} = 26 C_6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. This comparison gives an interesting result. When the ratio between the value of C_6 for the multiple-pulse assessment and the value of C_6 for the averaging power assessment is less than $26/8,28 = 3,14$, the multiple pulse assessment gives the most restrictive MPE, thus $E_{\text{MPE,train,F}}$ has to be used to calculate the hazard factor. In the case where this ratio is greater than 3,14, the value to be used is $E_{\text{MPE,avg}}$.

If the angular subtense α is less than or equal to 1,5 mrad, the ratio described above is 1, thus the value to be used is $E_{\text{MPE,train,F}}$. If angular subtense α is greater than 1,5 mrad or less than 11 mrad, this ratio is $\alpha/(1,5 \text{ mrad})$. Hence, if the angular subtense of the grouping is less than $3,14 \times 1,5 \text{ mrad} = 4,71 \text{ mrad}$, the MPE value to be used is $E_{\text{MPE,train,F}}$, whereas if the angular subtense is greater than 4,71 mrad, the MPE value to be used is $E_{\text{MPE,avg,F}}$. If the angular subtense α is greater than or equal to 11 mrad, this ratio is $11/1,5 = 7,33$, thus the value to be used is $E_{\text{MPE,avg}}$.

These results are useful to simplify the calculations of this example. Otherwise it should be necessary to compare $E_{\text{MPE,train,F}}$ and $E_{\text{MPE,avg}}$ for each group to be evaluated.

Single-diode group

The individual diodes subtend angles of 0,5 mrad (vertical) and 2,2 mrad (horizontal). The MPE for rectangular sources is determined by the arithmetic mean of the two angular subtenses. As stated in 13.4.2, before determining the mean, any angular subtense less than 1,5 mrad or greater than 100 mrad should be replaced by 1,5 mrad or 100 mrad, respectively. Therefore the mean is as follows:

$$(1,5 + 2,2)/2 \text{ mrad} = 1,85 \text{ mrad}$$

Since this value is less than 4,71 mrad, the most restrictive MPE is given by the multiple pulse assessment. This value is greater than 1,5 mrad, thus the individual diode is considered to be an extended source and the correction factor is $C_6 = 1,85/1,5 = 1,23$. The applicable MPE is as follows:

$$E_{\text{MPE,diode}} = E_{\text{MPE,train,F}} = 8,28 \times 1,23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 10,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

This MPE is not applicable to the total irradiance, but rather the irradiance of each single diode. Assuming that all diodes have the same power emission, this MPE has to be compared with the total irradiance divided by the number of diodes, i.e. 20.

$$E_{\text{diode}} = E_{\text{total}}/20 = 3\,600/20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

This MPE is exceeded at a distance of 1 m by a factor of $180/10,2 = 17,6$.

Groupement horizontal de deux diodes

Un groupement probable de réseau à étudier correspond à deux diodes horizontalement adjacentes sous-tendant des angles de 0,5 mrad (verticalement) et 5,2 mrad (horizontalement). En remplaçant 0,5 mrad par 1,5 mrad, comme indiqué en 13.4.2, la moyenne arithmétique des deux dimensions angulaires est $(1,5 + 5,2)/2 \text{ mrad} = 3,35 \text{ mrad}$. L'EMP la plus restrictive est donnée par l'évaluation pour des impulsions multiples. Ainsi, le facteur de correction est $C_6 = 3,35/1,5 = 2,23$ et l'EMP applicable est:

$$E_{\text{EMP,hor,deux}} = E_{\text{EMP,train,F}} = 8,28 \times 2,23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 18,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Comme l'éclairement énergétique de ce groupement est deux fois celui d'une diode unique, cette EMP est à comparer avec:

$$E_{\text{deux}} = E_{\text{diode}} \times 2 = 180 \times 2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

A une distance de 1 m, le facteur de risque est de $360/18,5 = 19,5$. Par suite, ce groupement de deux diodes produit un facteur de risque supérieur (c'est-à-dire une EMP plus prudente) à celui produit par une diode prise individuellement.

Groupement vertical de deux diodes

Un autre sous-ensemble du réseau à étudier correspond à deux diodes verticales sous-tendant des angles de 2,8 mrad (verticalement) par 2,2 mrad (horizontalement). La moyenne arithmétique des deux dimensions angulaires est 2,5 mrad. L'EMP la plus restrictive est donnée par l'évaluation pour des impulsions multiples. Par suite, le facteur de correction est $C_6 = 2,5/1,5 = 1,67$. L'EMP applicable est:

$$E_{\text{EMP,vert,deux}} = E_{\text{EMP,train,F}} = 8,28 \times 1,67 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 13,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

L'éclairement énergétique de ce groupement est deux fois celui d'une diode unique. Par suite, cette EMP est à comparer avec:

$$E_{\text{deux}} = E_{\text{diode}} \times 2 = 180 \times 2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

A une distance de 1 m, le facteur de risque est de $360/13,8 = 26,1$. Par suite, ce groupement produit un facteur de risque supérieur au précédent.

Groupement de quatre diodes

Un autre sous-ensemble probable du réseau à étudier correspond à quatre diodes adjacentes (2 par 2) sous-tendant des angles de 2,8 mrad (verticalement) par 5,2 mrad (horizontalement). La moyenne arithmétique des deux dimensions angulaires est 4 mrad. L'EMP la plus restrictive est donnée par l'évaluation pour des impulsions multiples et le facteur de correction est $C_6 = 4/1,5 = 2,67$. L'EMP applicable est:

$$E_{\text{EMP,quatre}} = E_{\text{EMP,train,F}} = 8,28 \times 2,67 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 22,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Comme l'éclairement énergétique de ce groupement est quatre fois celui d'une diode unique, cette EMP est à comparer avec:

$$E_{\text{quatre}} = E_{\text{diode}} \times 4 = 180 \times 4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 720 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

A une distance de 1 m, le facteur de risque est de $720/22,1 = 32,5$. Ce groupement produit un facteur de risque supérieur à tous les précédents.

Horizontal two-diode group

A plausible group of the array to consider is two horizontally adjacent diodes subtending angles of 0,5 mrad (vertical) by 5,2 mrad (horizontal). Replacing 0,5 mrad by 1,5 mrad as stated in 13.4.2, the arithmetic mean of the two angular dimensions is $(1,5 + 5,2)/2$ mrad = 3,35 mrad. The most restrictive MPE is given by the multiple pulse assessment. The correction factor is $C_6 = 3,35/1,5 = 2,23$ and the applicable MPE is as follows:

$$E_{\text{MPE,hor,two}} = E_{\text{MPE,train,F}} = 8,28 \times 2,23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 18,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Since the irradiance of this grouping is twice the irradiance of the single diode, this MPE has to be compared with the following:

$$E_{\text{two}} = E_{\text{diode}} \times 2 = 180 \times 2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

At a distance of 1 m, the hazard factor is $360/18,5 = 19,5$. Hence, this grouping of two diodes produces a greater hazard factor (i.e. a more conservative MPE) than the single-diode group.

Vertical two-diode group

Another sub-unit of the array to consider is two vertical diodes subtending angles of 2,8 mrad (vertical) by 2,2 mrad (horizontal). The arithmetic mean of the two angular dimensions is 2,5 mrad. The most restrictive MPE is given by the multiple pulse assessment. Hence the correction factor is $C_6 = 2,5/1,5 = 1,67$. The applicable MPE is as follows:

$$E_{\text{MPE,vert,two}} = E_{\text{MPE,train,F}} = 8,28 \times 1,67 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 13,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

The irradiance of this grouping is twice the irradiance of the single diode. Hence this MPE has to be compared with the following:

$$E_{\text{two}} = E_{\text{diode}} \times 2 = 180 \times 2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

At a distance of 1 m, the hazard factor is $360/13,8 = 26,1$. Hence, this grouping produces a greater hazard factor than the previous one.

Four-diode group

Another plausible sub-unit of the array to consider is four adjacent diodes (2 by 2) subtending angles of 2,8 mrad (vertical) by 5,2 mrad (horizontal). The arithmetic mean of the two angular dimensions is 4 mrad. The most restrictive MPE is given by the multiple pulse assessment and the correction factor is $C_6 = 4/1,5 = 2,67$. The applicable MPE is as follows:

$$E_{\text{MPE,four}} = E_{\text{MPE,train,F}} = 8,28 \times 2,67 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 22,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Since the irradiance of this grouping is four times the irradiance of the single diode, this MPE has to be compared with the following:

$$E_{\text{four}} = E_{\text{diode}} \times 4 = 180 \times 4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 720 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

At a distance of 1 m, the hazard factor is $720/22,1 = 32,5$. This grouping produces a hazard factor greater than all the previous ones.

Une rangée de dix diodes

Un autre groupement intéressant à étudier correspond à une ligne entière de 10 diodes sous-tendant des angles de 0,5 mrad (verticalement) et 29,2 mrad (horizontalement). En remplaçant 0,5 mrad par 1,5 mrad, comme indiqué en 13.4.2, la moyenne arithmétique des deux dimensions angulaires est $(1,5 + 29,2)/2$ mrad = 15,3 mrad. Dans ce cas, l'EMP la plus restrictive est donnée par l'évaluation de la puissance moyenne. Ainsi, le facteur de correction est $C_6 = 15,3/11 = 1,39$. Ainsi, l'EMP applicable est:

$$E_{EMP,dix} = E_{EMP,moy} = 26 \times 1,39 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 36,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Comme ce groupement contient 10 diodes, cette EMP est à comparer avec:

$$E_{dix} = E_{diode} \times 10 = 180 \times 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 1800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

A une distance de 1 m, le facteur de risque est de $1800/36,1 = 49,9$.

Groupement de vingt diodes

Le dernier groupement à étudier dans cet exemple correspond au réseau complet de vingt diodes. Comme les diodes sont disposées en deux lignes adjacentes, le diamètre apparent vertical est identique à celui du groupement de quatre diodes, c'est-à-dire 2,8 mrad, et le diamètre apparent horizontal est de 29,2 mrad. La moyenne est 16 mrad et l'EMP la plus restrictive est donnée par l'évaluation de la puissance moyenne. C'est pourquoi le facteur de correction est $C_6 = 16/11 = 1,45$ et l'EMP applicable est:

$$E_{EMP,vingt} = E_{EMP,moy} = 26 \times 1,45 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 37,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Cette EMP est à comparer à l'éclairement énergétique total. A une distance de 1 m, le facteur de risque est de $3600/37,7 = 95,5$. C'est le facteur de risque le plus important trouvé dans cet exemple.

On peut montrer par des calculs que les autres groupements, comme trois diodes adjacentes horizontalement, six diodes adjacentes (2×3), etc., donnent des facteurs de risque inférieurs à 95,5. C'est pourquoi 95,5 est le facteur de risque à utiliser pour évaluer le risque de ce réseau.

Remarques complémentaires

Il est important de noter que, dans d'autres situations, le cas limite pourrait être obtenu avec un groupement d'une partie de la source et non avec le groupement de la source entière. Par exemple, on peut considérer un autre réseau constitué de vingt diodes disposées en deux rangées de 10 diodes chacune avec les mêmes dimensions angulaires des diodes et les mêmes distances verticales que dans l'exemple décrit ci-dessus, mais avec une distance centre à centre horizontale de 6 mrad.

Dans cette nouvelle situation, le diamètre apparent qu'il faut utiliser pour le réseau entier est $(2,8 + 56,2)/2$ mrad = 29,5 mrad, c'est pourquoi l'EMP la plus restrictive est donnée par l'évaluation de la puissance moyenne. Par suite, le facteur de correction est $C_6 = 29,5/11 = 2,68$ et l'EMP applicable est:

$$E_{EMP,vingt} = E_{EMP,moy} = 26 \times 2,68 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 69,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Le facteur de risque du réseau entier est $3600/69,7 = 51,6$.

One row of ten diodes

Another interesting grouping to evaluate is one entire row of 10 diodes subtending angles of 0,5 mrad (vertical) and 29,2 mrad (horizontal). Replacing 0,5 mrad by 1,5 mrad, as stated in 13.4.2, the arithmetic mean of the two angular dimensions is $(1,5 + 29,2)/2$ mrad = 15,3 mrad. In this case the most restrictive MPE is given by the average power assessment. Therefore the correction factor is $C_6 = 15,3/11 = 1,39$. Hence, the applicable MPE is as follows:

$$E_{\text{MPE,ten}} = E_{\text{MPE,avg}} = 26 \times 1,39 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 36,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Since this grouping contains 10 diodes, this MPE has to be compared with the following:

$$E_{\text{ten}} = E_{\text{diode}} \times 10 = 180 \times 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 1\,800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

At a distance of 1 m, the hazard factor is $1\,800/36,1 = 49,9$.

Twenty-diode group

The last grouping to be considered in this example is an evaluation of the entire array of twenty diodes. Since the diodes are arranged in two adjacent rows, the vertical angular subtense is identical to that in the four-diode group, i.e. 2,8 mrad, and the horizontal angular subtense is 29,2 mrad. The average is 16 mrad and the most restrictive MPE is given by the average power assessment. Therefore the correction factor is $C_6 = 16/11 = 1,45$ and the applicable MPE is as follows:

$$E_{\text{MPE,twenty}} = E_{\text{MPE,avg}} = 26 \times 1,45 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 37,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

This MPE has to be compared with the total irradiance. At a distance of 1 m, the hazard factor is $3\,600/37,7 = 95,5$. This is the largest hazard factor found in this example.

It can be shown by calculations that the other groups, such as three horizontally adjacent diodes, six adjacent diodes (2×3), etc., give hazard factors smaller than 95,5. Therefore 95,5 is the hazard factor to be used to evaluate the hazard of this array.

Additional remarks

It is important to note that in other situations the limiting case could be obtained from a grouping of a part of the source, not by the group of entire source. For example, we can consider another array constituted by twenty diodes arranged in two rows of 10 diodes each, with the same angular dimensions of the diodes and the same vertical distances as in the example described above, but with a horizontal centre-to-centre distance of 6 mrad.

In this new situation, the angular subtense that is to be used for the entire array is $(2,8 + 56,2)/2$ mrad = 29,5 mrad, thus the most restrictive MPE is given by the average power assessment. Hence, the correction factor is $C_6 = 29,5/11 = 2,68$ and the applicable MPE is as follows:

$$E_{\text{MPE,twenty}} = E_{\text{MPE,avg}} = 26 \times 2,68 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 69,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

The hazard factor of the entire array is $3\,600/69,7 = 51,6$.

Comme on peut le montrer par les calculs, le facteur de risque le plus important est obtenu par le groupement de huit diodes adjacentes (2×4). Le diamètre apparent de ce groupement est $(2,8 + 20,2)/2 = 11,5$. Ainsi, $C_6 = 11,5/11 = 1,05$. Par suite, l'EMP applicable est:

$$E_{\text{EMP,huit}} = E_{\text{EMP,moy}} = 26 \times 1,05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 27,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Il convient de comparer cette valeur avec:

$$E_{\text{huit}} = E_{\text{diode}} \times 8 = 180 \times 8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 1\,440 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Le facteur de risque de ce groupement est de $1\,440/27,3 = 52,7$. Comme 52,7 est la valeur la plus importante, il faut la considérer comme le facteur de risque de ce réseau.

Le fait que le réseau entier donne un facteur de risque inférieur au facteur de risque d'un groupement de huit diodes ne signifie pas que le réseau entier, c'est-à-dire l'ensemble des 20 diodes, est moins dangereux que l'ensemble de huit diodes. La signification de ce résultat, étrange en apparence, est que, dans ce cas spécifique, l'évaluation correcte du risque n'est pas obtenue en considérant les 20 diodes comme une source uniforme sous-tendant un diamètre apparent de 29,5 mrad, mais est donnée par l'analyse des parties qui forment le réseau lui-même. Cela est dû au fait que la source entière n'est pas uniforme.

Densité optique nécessaire

Pour protéger un observateur situé à une distance de 1 m, un facteur d'atténuation de 95,5 ou presque 100 devrait être exigé pour un filtre protecteur. Une densité optique de 2 (c'est-à-dire $\log 100$) correspond à un facteur d'atténuation de 100 et fournirait alors une protection satisfaisante à une distance de 1 m du laser.

En général, il est également nécessaire de s'assurer que le filtre peut résister au niveau de puissance du rayonnement, car le filtre pourrait avoir une densité optique suffisante mais pourrait être endommagé par le rayonnement, en perdant sa capacité à protéger.

En utilisant l'approche simpliste de l'approximation d'une source ponctuelle au lieu de calculs de groupement, l'EMP pour le réseau entier devrait être égale à $8,28 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Ainsi, à une distance de 1 m, l'approximation d'une source ponctuelle entraîne un éclairage énergétique excédant l'EMP d'un facteur de $3\,600/8,28 = 435$, ce qui nécessite une DO de $\log 435 = 2,64$ ou supérieure. On remarque que cette approximation d'une source ponctuelle entraîne un risque estimé à plus de quatre fois celui résultant d'une approche plus précise par groupement de diodes.

Utilisation d'un dispositif optique

Les lunettes et les jumelles normales ne peuvent pas se mettre au point sur des objets à une distance de 1 m. Cependant, pour le présent exemple, on peut prendre en considération l'utilisation d'un dispositif optique de puissance $3\times$ pour visionner le laser à 1 m. Cela exige l'analyse complémentaire suivante.

L'ouverture de ce dispositif est de 21 mm, elle est inférieure aux dimensions du faisceau. Par conséquent, la puissance est augmentée par un facteur $3^2 = 9$. Les dimensions angulaires du réseau sont augmentées par un facteur 3 dû au grossissement du dispositif de puissance $3\times$. Par suite, il est nécessaire d'effectuer le calcul comme indiqué ci-dessus, mais en tenant compte des nouvelles valeurs des dimensions angulaires et de la puissance de chaque groupement.

As can be shown by calculations, the greatest hazard factor is obtained by the group of eight adjacent diodes (2×4). The angular subtense of this group is $(2,8 + 20,2)/2 = 11,5$. Thus, $C_6 = 11,5/11 = 1,05$. Hence, the applicable MPE is as follows:

$$E_{\text{MPE, eight}} = E_{\text{MPE, avg}} = 26 \times 1,05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 27,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

This value should be compared with the following:

$$E_{\text{eight}} = E_{\text{diode}} \times 8 = 180 \times 8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 1\,440 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

The hazard factor of this grouping is $1\,440/27,3 = 52,7$. Since 52,7 is the greatest value, it is to be considered as the hazard factor for this array.

The fact that the whole array gives a hazard factor smaller than the hazard factor of the eight-diode group does not mean that the whole array, i.e. the assembly of 20 diodes, is less hazardous than the assembly of eight diodes. The meaning of this apparently strange result is that, in this specific case, the correct evaluation of the hazard is not obtained by considering the 20 diodes as one uniform source subtending an angular subtense of 29,5 mrad, but is given by the analysis of the parts that form the array itself. This is due to the fact that the whole source is not uniform.

Required optical density

To protect the viewer at a distance of 1 m, an attenuation factor of 95,5 or nearly 100 would be required in a protective filter. An optical density of 2 (i.e. $\log 100$) corresponds to an attenuation factor of 100 and would provide adequate protection from this laser at a distance of 1 m.

In general, it is also necessary to ensure that the filter can withstand the level of radiation power because, although the filter may have a sufficient optical density, it might be damaged by the radiation, and thus lose its capability to protect.

Using the simplistic approach of a point source approximation instead of the group calculations, the MPE for the entire array would be equal to $8,28 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Thus, at a distance of 1 m, the point source approximation results in the irradiance exceeding the MPE by $3\,600/8,28 = 435$ times, requiring an OD of $\log 435 = 2,64$ or more. Notice that the point source approximation results in the hazard being estimated at more than four times the hazard obtained by the more accurate approach of grouping diodes.

Use of an optical device

Normal telescopes and binoculars cannot focus objects at a distance of 1 m. However, for the purpose of this example, the use of a 3×-power device to view the laser at 1 m is considered. This requires the following additional analysis.

The aperture of this device is 21 mm, smaller than the dimensions of the beam. Therefore the power is increased by a factor of $3^2 = 9$. The angular dimensions of the array are increased by a factor of 3 due to the magnification of the 3×-power device. Hence, it is necessary to perform the calculation as previously reported, but taking into consideration new values for the angular dimensions and the power of each grouping.

Comme la méthode de mesure exige un angle d'acceptance maximal de $\alpha_{\max} = 100$ mrad pour collecter les rayonnements (voir 8.2 j), lorsqu'une des deux dimensions angulaires du groupement, par exemple la dimension horizontale (indiquée par α_{hor}) est supérieure à $\alpha_{\max}$, il convient de réduire la puissance du groupement par un facteur de $\alpha_{\max}/\alpha_{\text{hor}}$ pour exclure la partie de la source qui se trouve à l'extérieur de l'angle d'acceptance. De plus, il convient de limiter tout diamètre apparent à $\alpha_{\max}$ avant de déterminer la moyenne arithmétique à utiliser pour le calcul de C_6 comme indiqué en 13.4.2. Cependant, dans cet exemple spécifique, tous les diamètres apparents sont inférieurs à $\alpha_{\max}$.

Si l'on considère la vision assistée avec ce dispositif optique, l'analyse des différents groupements de diodes montre que la valeur la plus élevée du facteur de risque est donnée par le groupement du réseau entier de 20 diodes. Cette valeur est 286, nécessitant une densité optique complémentaire de $\log 286 = 2,46$.

Il convient de noter que, dans d'autres situations, l'évaluation est plus simple lorsque la source est uniforme, lorsque le faisceau est plus grand que l'ouverture du dispositif optique de puissance 3x et lorsque les diamètres apparents de chaque groupement (réseau entier inclus) se situent entre $\alpha_{\min}$ et $\alpha_{\max}$ à la fois pour les visions assistées et à l'œil nu. En fait dans ce cas, le système optique collecterait environ neuf fois autant de puissance mais la source apparaîtrait trois fois plus grande. Par suite, comme le facteur C_6 est trois fois plus grand, le risque produit par ce dispositif optique serait trois fois le risque de la vision à l'œil nu.

Dans ce cas spécifique, même si la source n'est pas uniforme, le facteur de risque est d'environ trois fois le facteur de risque pour la vision à l'œil nu. Cependant dans d'autres cas, les résultats pourraient être très différents.

Généralement les jumelles ont une transmission d'environ 70 % à cette longueur d'onde, ajoutant une densité optique de 0,15. Par suite, la densité optique nécessaire avec un système optique de puissance 3x est de: $DO = 2,46 - 0,15 = 2,31$. Ainsi, une DO de 2,31 ou supérieure devrait assurer une protection dans les deux cas de vision directe du faisceau, vision assistée ou à l'œil nu, à une distance de 1 m de l'ouverture de sortie.

Considérations sur la fréquence de répétition des impulsions

Pour simplifier l'évaluation des expositions à des impulsions multiples, il convient de noter qu'il y a une valeur de fréquence de répétition d'impulsions qui peut être considérée comme une valeur limite dans la détermination de l'EMP appropriée. Pour les fréquences inférieures à cette limite, l'EMP la plus restrictive est donnée par l'évaluation pour des impulsions multiples, alors que pour les fréquences supérieures à cette limite, l'EMP la plus restrictive est donnée par l'évaluation de la puissance moyenne.

Cette limite dépend de trois paramètres: longueur d'onde, durée d'impulsion et temps d'exposition. Cependant, pour certaines gammes de ces paramètres, la limite est constante, ce qui rend son utilisation facile et pratique. Ces résultats peuvent être résumés comme suit.

- a) Pour les longueurs d'onde entre 400 nm et 550 nm, lorsque la durée d'impulsion est dans la gamme 10^{-9} s à $1,8 \times 10^{-5}$ s et que le temps d'exposition est dans la gamme de $1,8 \times 10^{-5}$ s à 10 s, la valeur de la limite est de 55 174 Hz.
- b) Pour les longueurs d'onde entre 550 nm et 700 nm, lorsque la durée d'impulsion est dans la gamme 10^{-9} s à $1,8 \times 10^{-5}$ s et que le temps d'exposition est dans la gamme de $1,8 \times 10^{-5}$ à T_2 (voir les notes des tableaux 1 à 4 à la page 66), la valeur de la limite est de 55 174 Hz.
- c) Pour les longueurs d'onde entre 700 nm et 1 050 nm, lorsque la durée d'impulsion est dans la gamme 10^{-9} s à $1,8 \times 10^{-5}$ s et que le temps d'exposition est dans la gamme de $1,8 \times 10^{-5}$ s à 10^3 s, la valeur de la limite est de 55 174 Hz.
- d) Pour les longueurs d'onde entre 1 050 nm et 1 400 nm, lorsque la durée d'impulsion est dans la gamme 10^{-9} s à 5×10^{-5} s et que le temps d'exposition est dans la gamme de 5×10^{-5} à 10^3 s, la valeur de la limite est de 21 896 Hz.

Since the measurement method requires a maximum acceptance angle of $\alpha_{\max} = 100$ mrad to collect the radiation (see 8.2 j), when one of the two angular dimensions of the grouping, e.g. the horizontal one (indicated by α_{hor}), is greater than $\alpha_{\max}$, the power of the grouping should be reduced to a factor of $\alpha_{\max}/\alpha_{\text{hor}}$, to exclude the part of the source which is outside the acceptance angle. Furthermore, any angular subtense should be limited to $\alpha_{\max}$ before determining the arithmetic mean to be used for the calculation of C_6 , as stated in 13.4.2. However in this specific example, all the angular subtenses are less than $\alpha_{\max}$.

Considering the aided viewing with this optical device, the analysis of the different diode groups shows that the highest value of the hazard factor is given by the group of the whole array of 20 diodes. This value is 286, requiring an additional optical density of $\log 286 = 2,46$.

It should be noted that in other situations the evaluation is simpler when the source is uniform, when the beam is larger than the aperture of the 3×-power optical device and when the angular subtenses of each grouping (the whole array included) are between $\alpha_{\min}$ and $\alpha_{\max}$ for both the aided and unaided viewing. In fact, in this case the optics would collect about nine times as much power, but the source would appear three times larger. Hence, since the factor C_6 is three times greater, the hazard produced by this optical device should be three times the hazard of the unaided viewing.

In this specific case, even if the source is not uniform, the hazard factor is about three times the hazard factor for unaided viewing. However, in other cases, the results could be very different.

Normally binoculars have a transmission of about 70 % at this wavelength, supplying 0,15 of this additional optical density. Hence, the necessary optical density with 3×-power optics is: $OD = 2,46 - 0,15 = 2,31$. Thus, an OD of 2,31 or more would provide protection for both aided and unaided direct intra-beam viewing at a distance of 1 m from the exit aperture.

Considerations on the pulse repetition frequency

In order to simplify the evaluation of multiple pulse exposures, it should be noted that there is a value of the pulse repetition frequency that can be considered a limiting value in the determination of the appropriate MPE. For frequencies less than this limit, the most restrictive MPE is given by the multiple pulse assessment, whereas for frequencies greater than this limit, the most restrictive MPE is given by the average power assessment.

This limit depends on three parameters: wavelength, pulse duration and exposure time. However, for some ranges of these parameters, the limit is constant, making its use easy and convenient. These results can be summarized as reported below.

- a) For wavelengths between 400 nm and 550 nm, when the pulse duration is in the range from 10^{-9} s to $1,8 \times 10^{-5}$ s and the exposure time is in the range of $1,8 \times 10^{-5}$ to 10 s, the value of the limit is 55 174 Hz.
- b) For wavelengths between 550 nm and 700 nm, when the pulse duration is in the range from 10^{-9} s to $1,8 \times 10^{-5}$ s and the exposure time is in the range of $1,8 \times 10^{-5}$ to T_2 (see notes to tables 1 to 4 on page 67), the value of the limit is 55 174 Hz.
- c) For wavelengths between 700 nm and 1 050 nm, when the pulse duration is in the range from 10^{-9} s to $1,8 \times 10^{-5}$ s and the exposure time is in the range of $1,8 \times 10^{-5}$ s to 10^3 s, the value of the limit is 55 174 Hz.
- d) For wavelengths between 1 050 nm and 1 400 nm, when the pulse duration is in the range from 10^{-9} s to 5×10^{-5} s and the exposure time is in the range of 5×10^{-5} s to 10^3 s, the value of the limit is 21 896 Hz.