

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE  
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION  
IEC STANDARD

**Publication 825**

Première édition — First edition

1984

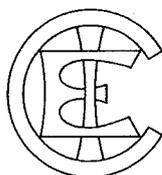
---

**Sécurité du rayonnement des appareils à laser, classification des matériels,  
prescriptions et guide de l'utilisateur**

---

**Radiation safety of laser products, equipment classification,  
requirements and user's guide**

---



© CEI 1984

Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

**Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale**

3, rue de Varembe  
Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60825-1:1984

# Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE  
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION  
IEC STANDARD

**Publication 825**

Première édition — First edition

1984

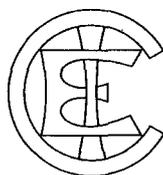
---

**Sécurité du rayonnement des appareils à laser, classification des matériels,  
prescriptions et guide de l'utilisateur**

---

**Radiation safety of laser products, equipment classification,  
requirements and user's guide**

---



© CEI 1984

Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

Genève, Suisse

## SOMMAIRE

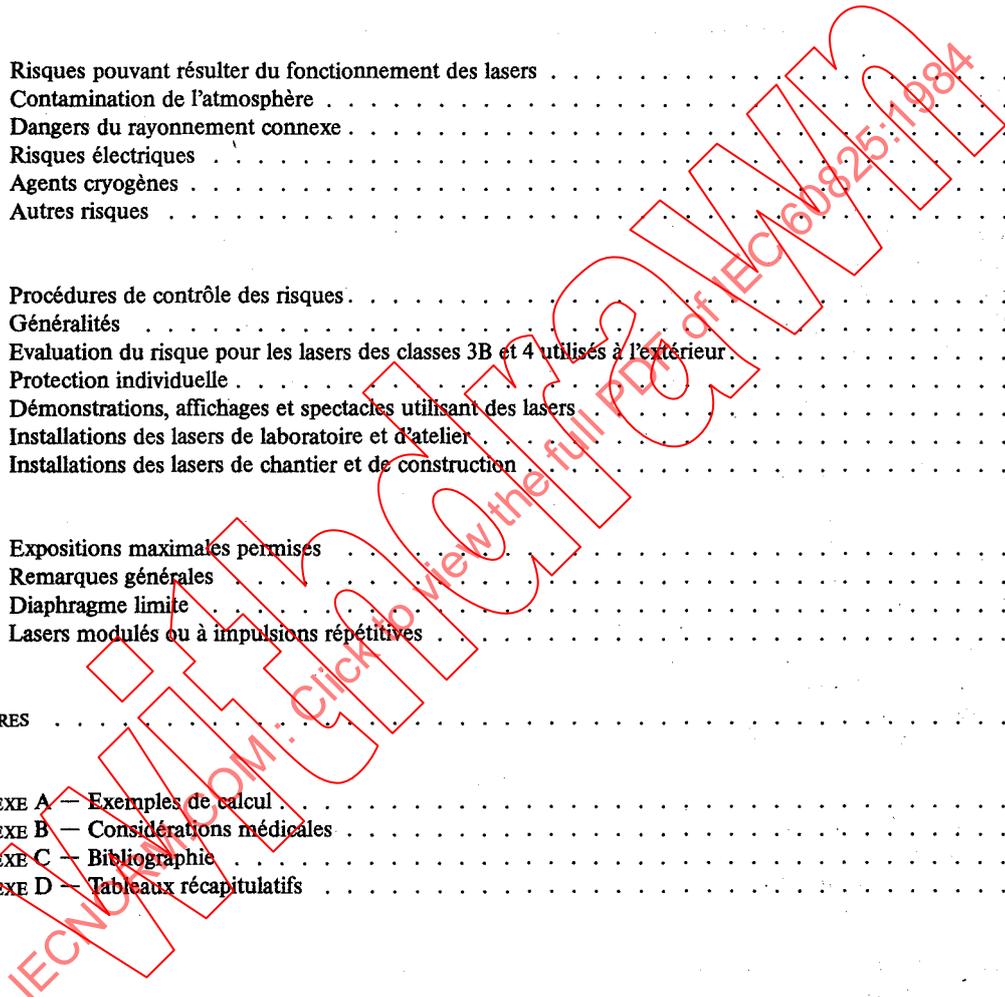
	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	6
PRÉFACE . . . . .	6
<b>SECTION UN — GÉNÉRALITÉS</b>	
Articles	
1. Domaine d'application . . . . .	8
2. Objet . . . . .	8
3. Définitions . . . . .	10
<b>SECTION DEUX — PRESCRIPTIONS DE FABRICATION</b>	
4. Spécifications techniques . . . . .	24
4.1 Remarques générales . . . . .	24
4.2 Capot de protection . . . . .	26
4.3 Verrouillages de sécurité . . . . .	26
4.4 Connecteur de verrouillage à distance . . . . .	28
4.5 Commande à clé . . . . .	28
4.6 Avertissement d'émission de rayonnement laser . . . . .	28
4.7 Arrêt de faisceau ou atténuateur . . . . .	28
4.8 Commandes . . . . .	28
4.9 Optiques d'observation . . . . .	30
4.10 Sécurité de balayage . . . . .	30
5. Etiquetage . . . . .	30
5.1 Généralités . . . . .	30
5.2 Classe 1 . . . . .	30
5.3 Classe 2 . . . . .	30
5.4 Classe 3A . . . . .	30
5.5 Classe 3B . . . . .	32
5.6 Classe 4 . . . . .	32
5.7 Plaque indicatrice d'ouverture . . . . .	32
5.8 Information sur le rayonnement émis . . . . .	32
5.9 Plaques indicatrices pour les panneaux d'accès . . . . .	32
5.10 Avertissement pour rayonnement laser invisible . . . . .	34
6. Autres prescriptions relatives aux renseignements à fournir . . . . .	34
6.1 Renseignements pour l'utilisateur . . . . .	34
6.2 Renseignements pour l'achat et l'entretien . . . . .	36
7. Prescriptions additionnelles pour appareils à laser spécifiques . . . . .	36
7.1 Appareils à laser médicaux . . . . .	36
7.2 Système de transmission laser à fibre optique . . . . .	36
8. Essais . . . . .	38
8.1 Généralités . . . . .	38
8.2 Mesures des niveaux de rayonnement laser en vue de déterminer la classification . . . . .	38
9. Classification . . . . .	40
9.1 Introduction . . . . .	40
9.2 Définition des classes laser . . . . .	40
9.3 Procédure de classification . . . . .	42
9.4 Laser à impulsions répétitives ou modulées . . . . .	44

## CONTENTS

	Pages
FOREWORD . . . . .	7
PREFACE . . . . .	7
<b>SECTION ONE — GENERAL</b>	
Clause	
1. Scope . . . . .	9
2. Object . . . . .	9
3. Definitions . . . . .	11
<b>SECTION TWO — MANUFACTURING REQUIREMENTS</b>	
4. Engineering specifications . . . . .	25
4.1 General remarks . . . . .	25
4.2 Protective housing . . . . .	27
4.3 Safety interlocks . . . . .	27
4.4 Remote interlock connector . . . . .	29
4.5 Key control . . . . .	29
4.6 Laser radiation emission warning . . . . .	29
4.7 Beam stop or attenuator . . . . .	29
4.8 Controls . . . . .	29
4.9 Viewing optics . . . . .	31
4.10 Scanning safeguard . . . . .	31
5. Labelling . . . . .	31
5.1 General . . . . .	31
5.2 Class 1 . . . . .	31
5.3 Class 2 . . . . .	31
5.4 Class 3A . . . . .	31
5.5 Class 3B . . . . .	33
5.6 Class 4 . . . . .	33
5.7 Aperture label . . . . .	33
5.8 Radiation output information . . . . .	33
5.9 Labels for access panels . . . . .	33
5.10 Warning for invisible laser radiation . . . . .	35
6. Other informational requirements . . . . .	35
6.1 Information for the user . . . . .	35
6.2 Purchasing and servicing information . . . . .	37
7. Additional requirements for specific laser products . . . . .	37
7.1 Medical laser products . . . . .	37
7.2 Laser fibre optic transmission system . . . . .	37
8. Tests . . . . .	39
8.1 General . . . . .	39
8.2 Measurements of laser radiation for determining classification . . . . .	39
9. Classification . . . . .	41
9.1 Introduction . . . . .	41
9.2 Definition of laser classes . . . . .	41
9.3 Classification procedure . . . . .	43
9.4 Repetitively pulsed or modulated lasers . . . . .	45

SECTION TROIS — GUIDE DE L'UTILISATEUR

Articles	Pages
10. Mesures de sécurité . . . . .	58
10.1 Généralités . . . . .	58
10.2 Emploi du connecteur de verrouillage à distance . . . . .	58
10.3 Commande à clé . . . . .	58
10.4 Arrêt de faisceau ou atténuateur . . . . .	58
10.5 Panneaux avertisseurs . . . . .	60
10.6 Trajets des faisceaux . . . . .	60
10.7 Réflexions spéculaires . . . . .	60
10.8 Protection des yeux . . . . .	60
10.9 Vêtements de protection . . . . .	62
10.10 Formation . . . . .	62
10.11 Surveillance médicale . . . . .	64
11. Risques pouvant résulter du fonctionnement des lasers . . . . .	64
11.1 Contamination de l'atmosphère . . . . .	64
11.2 Dangers du rayonnement connexe . . . . .	64
11.3 Risques électriques . . . . .	64
11.4 Agents cryogènes . . . . .	66
11.5 Autres risques . . . . .	66
12. Procédures de contrôle des risques . . . . .	66
12.1 Généralités . . . . .	66
12.2 Evaluation du risque pour les lasers des classes 3B et 4 utilisés à l'extérieur . . . . .	66
12.3 Protection individuelle . . . . .	68
12.4 Démonstrations, affichages et spectacles utilisant des lasers . . . . .	68
12.5 Installations des lasers de laboratoire et d'atelier . . . . .	68
12.6 Installations des lasers de chantier et de construction . . . . .	70
13. Expositions maximales permises . . . . .	74
13.1 Remarques générales . . . . .	74
13.2 Diaphragme limite . . . . .	76
13.3 Lasers modulés ou à impulsions répétitives . . . . .	76
FIGURES . . . . .	88
ANNEXE A — Exemples de calcul . . . . .	100
ANNEXE B — Considérations médicales . . . . .	120
ANNEXE C — Bibliographie . . . . .	130
ANNEXE D — Tableaux récapitulatifs . . . . .	132



## SECTION THREE — USER'S GUIDE

Clause	Page
10. Safety precautions . . . . .	59
10.1 General . . . . .	59
10.2 Use of remote interlock connector . . . . .	59
10.3 Key control . . . . .	59
10.4 Beam stop or attenuator . . . . .	59
10.5 Warning signs . . . . .	61
10.6 Beam paths . . . . .	61
10.7 Specular reflections . . . . .	61
10.8 Eye protection . . . . .	61
10.9 Protective clothing . . . . .	63
10.10 Training . . . . .	63
10.11 Medical supervision . . . . .	65
11. Hazards incidental to laser operation . . . . .	65
11.1 Atmospheric contamination . . . . .	65
11.2 Collateral radiation hazards . . . . .	65
11.3 Electrical hazards . . . . .	65
11.4 Cryogenic coolants . . . . .	67
11.5 Other hazards . . . . .	67
12. Procedures for hazard control . . . . .	67
12.1 General . . . . .	67
12.2 Hazard evaluation for Class 3B and Class 4 lasers used outdoors . . . . .	67
12.3 Personal protection . . . . .	69
12.4 Laser demonstrations, displays and exhibitions . . . . .	69
12.5 Laboratory and workshop laser installations . . . . .	69
12.6 Outdoor and construction laser installations . . . . .	71
13. Maximum permissible exposures . . . . .	75
13.1 General remarks . . . . .	75
13.2 Limiting apertures . . . . .	77
13.3 Repetitively pulsed or modulated lasers . . . . .	77
FIGURES . . . . .	88
APPENDIX A — Examples of calculations . . . . .	101
APPENDIX B — Medical considerations . . . . .	121
APPENDIX C — Bibliography . . . . .	131
APPENDIX D — Summary tables . . . . .	133

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**SÉCURITÉ DU RAYONNEMENT DES APPAREILS À LASER,  
CLASSIFICATION DES MATÉRIELS,  
PRESCRIPTIONS ET GUIDE DE L'UTILISATEUR**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Études n° 76 de la CEI: Matériels laser.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote	Procédure des Deux Mois	Rapport de vote
76(BC)6	76(BC)7	76(BC)8	76(BC)11

Pour de plus amples renseignements, consulter les rapports de vote correspondants, mentionnés dans le tableau ci-dessus.

*Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:*

Publications n°s 27-1 (1971): Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique. Première partie: Généralités.  
50(45) (1970): Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), Chapitre 45: Eclairage.

*Autres publication citée:*

Norme ISO 1000 (1981): Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RADIATION SAFETY OF LASER PRODUCTS,  
EQUIPMENT CLASSIFICATION,  
REQUIREMENTS AND USER'S GUIDE**

## FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as normal conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

## PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 76: Laser Equipment.

The text of this standard is based upon the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting	Two Months' Procedure	Report on Voting
76(CO)6	76(CO)7	76(CO)8	76(CO)11

Further information can be found in the relevant Reports on Voting indicated in the table above.

*The following IEC publications are quoted in this standard:*

Publications Nos. 27-1 (1971): Letter Symbols to be Used in Electrical Technology, Part. 1: General.  
50(45) (1970): International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 45: Lighting.

*Other publication quoted:*

ISO Standard 1000 (1981): SI Units and Recommendations for the Use of Their Multiples and of Certain Other Units.

# SÉCURITÉ DU RAYONNEMENT DES APPAREILS À LASER, CLASSIFICATION DES MATÉRIELS, PRESCRIPTIONS ET GUIDE DE L'UTILISATEUR

## SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

### 1. Domaine d'application

La présente norme est relative au rayonnement émis par les appareils à laser. Les spécifications pour la sécurité électrique sont détaillées dans une autre norme de la CEI, qui est à l'étude. Par commodité la présente norme a été divisée en trois sections séparées : section un (généralités) et les annexes (qui présentent un intérêt pour tout utilisateur), section deux (prescriptions de fabrication), et section trois (guide de l'utilisateur)<sup>1)</sup>.

Un appareil à laser peut se composer d'un seul laser avec ou sans dispositif d'alimentation séparé, ou bien il peut comporter un ou plusieurs lasers dans un système complexe optique, électrique ou mécanique. Des appareils à laser sont utilisés classiquement pour la démonstration des phénomènes physiques et optiques, pour le travail des matériaux, pour la lecture et le stockage des données, la transmission et la visualisation de l'information, etc. De tels systèmes sont utilisés dans l'industrie, le commerce, le spectacle, la recherche, l'enseignement et la médecine. Cependant, les appareils à laser qui sont vendus à d'autres fabricants pour être utilisés en tant que composants d'un matériel quelconque destiné à une vente ultérieure ne sont pas soumis à la présente norme, étant donné que l'appareil final sera, lui-même, soumis à cette norme.

Les valeurs des EMP (expositions maximales permises) de cette norme ont été établies pour le rayonnement laser et ne s'appliquent pas au rayonnement connexe. Les valeurs des EMP ne sont pas applicables à l'exposition d'un patient au rayonnement laser dans le but d'un traitement médical.

*Note.* — Les annexes A à D ont été incluses afin de fournir un guide général et de donner plusieurs cas pratiques. Cependant, les annexes ne doivent pas être considérées comme définitives ou exhaustives et il faudrait toujours faire référence à l'article ou aux articles appropriés de la section un à la section trois.

### 2. Objet

- 2.1 Protéger les personnes contre le rayonnement laser dans la gamme de longueurs d'onde allant de 200 nm à 1 mm<sup>2)</sup>, en indiquant les niveaux du rayonnement laser accessibles sans danger et en introduisant un système de classification des lasers et des appareils à laser compte tenu du degré de risque qu'ils présentent.
- 2.2 Etablir des prescriptions, tant pour l'utilisateur que pour le fabricant, en vue de déterminer les procédures et de fournir les informations nécessaires pour que des précautions adéquates puissent être prises.

<sup>1)</sup> Certains pays ont des spécifications qui sont différentes de celles qui sont énoncées dans cette norme. En conséquence, l'agence nationale appropriée doit être contactée pour ces spécifications.

<sup>2)</sup> Dans la présente norme, le domaine de longueurs d'onde  $\lambda_1$  à  $\lambda_2$  signifie  $\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2$  (par exemple 200 nm à 1 mm signifie 200 nm  $\leq \lambda < 1$  mm).

# RADIATION SAFETY OF LASER PRODUCTS, EQUIPMENT CLASSIFICATION, REQUIREMENTS AND USER'S GUIDE

## SECTION ONE — GENERAL

### 1. Scope

This standard is applicable to radiation from laser products. The requirements for electrical safety are detailed in another IEC standard under consideration. For convenience this standard has been divided into three separate sections: Section One (General) and the appendices (of interest to all concerned); Section Two (Manufacturing requirements); and Section Three (User's Guide)<sup>1)</sup>.

A laser product may consist of a single laser with or without a separate power supply or may incorporate one or more lasers in a complex optical, electrical, or mechanical system. Typically, laser products are used for demonstration of physical and optical phenomenon; material processing; data reading and storage; transmission and display of information; etc. Such systems have found use in industry, business, entertainment, research, education and medicine. However, laser products which are sold to other manufacturers for use as components of any system for subsequent sale are not subject to this standard, since the final product will itself be subject to this standard.

The MPE (maximum permissible exposure) values of this standard were developed for laser radiation and do not apply to collateral radiation. The MPE values shall not be applicable to patient exposure to laser radiation for the purpose of medical treatment.

*Note.* — Appendices A to D have been included for purposes of general guidance and to illustrate many typical cases. However, the appendices must not be regarded as definitive or exhaustive and reference should always be made to the appropriate clause(s) in Sections One to Three.

### 2. Object

- 2.1 To protect persons from laser radiation in the wavelength range 200 nm to 1 mm<sup>2)</sup> by indicating safe working levels of laser radiation and by introducing a system of classification of lasers and laser products according to their degree of hazard.
- 2.2 To lay down requirements for both user and manufacturer to establish procedures and supply information so that proper precautions can be adopted.

<sup>1)</sup> Some countries have requirements which differ from this standard. Therefore, contact the appropriate national agency for these requirements.

<sup>2)</sup> In this standard, the wavelength range  $\lambda_1$  to  $\lambda_2$  means  $\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2$  (e.g. 200 nm to 1 mm means  $200 \text{ nm} \leq \lambda < 1 \text{ mm}$ ).

- 2.3 Assurer aux personnes une mise en garde appropriée contre les risques associés au rayonnement accessible des appareils à laser, par signalisation, étiquetage et instructions.
- 2.4 Diminuer la possibilité d'accident en réduisant au minimum le rayonnement accessible non utile, procurer un meilleur contrôle du rayonnement laser par des procédures de protection et assurer une utilisation sans danger des appareils à laser en spécifiant les mesures à prendre par l'utilisateur.

### 3. Définitions\*

Les définitions suivantes sont applicables pour les besoins de la présente norme.

#### 3.1 *Panneau d'accès*

Une partie du capot ou de l'enceinte de protection qui permet l'accès au rayonnement laser lorsqu'elle est retirée ou déplacée.

#### 3.2 *Limite d'émission accessible (LEA)*

Niveau maximal d'émission accessible permis dans une classe particulière.

#### 3.3 *Moyens de contrôle administratif*

Mesures de sécurité d'un type non technique, telles que: supervision par clé, entraînement du personnel dans le domaine de la sécurité, notes de mise en garde, procédures de compte à rebours, et contrôle par zone de sécurité.

#### 3.4 *Appareil à laser d'alignement*

L'appareil à laser conçu, fabriqué, prévu ou diffusé pour un ou plusieurs des usages suivants:

- a) détermination et tracé d'une forme, de l'étendue ou de la position d'un point, d'un solide ou d'une surface en effectuant des mesures angulaires,
- b) positionnement ou ajustement correct de parties les unes par rapport aux autres,
- c) définition d'un plan, d'un niveau, d'une hauteur ou d'une ligne droite.

#### 3.5 *Alpha min. ( $\alpha_{\min}$ )*

Voir *Diamètre apparent limite*, paragraphe 3.39.

#### 3.6 *Ouverture*

Toute ouverture dans le capot de protection ou dans une autre enceinte d'un appareil à laser, à travers laquelle est émis le rayonnement laser permettant l'accès humain à un tel rayonnement.

#### 3.7 *Diaphragme*

Ouverture définissant la surface sur laquelle le rayonnement est mesuré.

\* Pour plus de commodité, on les a disposées dans l'ordre alphabétique anglais. Des divergences par rapport à la Publication 50(45) de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), Chapitre 45: Eclairage, sont voulues et signalées.

- 2.3 To ensure adequate warning to individuals of hazards associated with accessible radiation from laser products through signs, labels and instructions.
- 2.4 To reduce the possibility of injury by minimizing unnecessary accessible radiation and to give improved control of the laser radiation through protective features and provide safe usage of laser products by specifying user control measures.

### 3. Definitions\*

For the purposes of this standard, the following definitions apply.

#### 3.1 Access panel

A part of the protective housing or enclosure which provides access to laser radiation when removed or displaced.

#### 3.2 Accessible emission limit (AEL)

The maximum accessible emission level permitted within a particular class.

#### 3.3 Administrative control

Safety measures of a non-engineering type such as: key supervision, safety training of personnel, warning notices, count-down procedures, and range safety controls.

#### 3.4 Alignment laser product

The laser product designed, manufactured, intended or promoted for one or more of the following uses:

- a) determining and delineating the form, extent or position of a point, body or area by taking angular measurements,
- b) positioning or adjusting parts in proper relation to one another,
- c) defining a plane, level, elevation or straight line.

#### 3.5 Alpha min. ( $\alpha_{\min}$ )

See *Limiting angular subtense*, Sub-clause 3.39.

#### 3.6 Aperture

Any opening in the protective housing or other enclosure of a laser product through which laser radiation is emitted, thereby, allowing human access to such radiation.

#### 3.7 Aperture stop

An opening serving to define the area over which radiation is measured.

---

\* Arranged here for convenience in English alphabetical order. Departures from IEC Publication 50(45): International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 45: Lighting, are intentional and are indicated.

### 3.8 *Divergence du faisceau (faisceau gaussien)*

Pour les besoins de l'évaluation du danger, c'est l'angle plan du cône moyen de rayons qui dans toute section droite contient 63% de la puissance totale (ou de l'énergie) du faisceau. Le diamètre du cercle dans chaque section droite est le diamètre du faisceau dans cette section. Le cercle est la courbe formée par les points où l'intensité de puissance (ou d'énergie) tombe à  $1/e$  de sa valeur centrale maximale. Si les diamètres de faisceau sont  $d_1$  et  $d_2$  mètres en des points distants de  $x$  mètres, la divergence du faisceau en radians est donnée par:

$$\frac{(d_2 - d_1)}{x}$$

### 3.9 *Système optique afocal*

Combinaison d'éléments optiques destinés à augmenter le diamètre d'un faisceau laser.

### 3.10 *Appareil à laser de classe 1*

Tout appareil à laser qui ne permet pas l'accès humain à un rayonnement laser excédant les limites d'émission accessible de la classe 1 pour les longueurs d'onde et les durées d'émission applicables (voir paragraphe 9.2).

### 3.11 *Appareil à laser de classe 2*

Tout appareil à laser qui:

- a) permet l'accès humain au rayonnement laser excédant les limites d'émission accessible de la classe 1 mais n'excédant pas les limites d'émission accessible de la classe 2 dans la gamme de longueurs d'ondes comprise entre 400 nm et 700 nm;
- b) ne permet pas l'accès humain à un rayonnement laser excédant les limites d'émission accessible de la classe 1 pour toute autre longueur d'onde (voir paragraphe 9.2).

### 3.12 *Appareils à laser des classes 3A et 3B*

Tout appareil à laser qui permet l'accès humain à un rayonnement laser excédant les limites d'émission accessible de la classe 1 et de la classe 2, suivant le cas, mais qui ne permet pas l'accès humain au rayonnement laser excédant les limites d'émission accessible des classes 3A et 3B (respectivement) pour toute durée d'émission et longueur d'onde (voir paragraphe 9.2).

### 3.13 *Appareils à laser de classe 4*

Tout appareil à laser qui permet l'accès humain au rayonnement laser excédant les limites d'émission accessible de la classe 3B (voir paragraphe 9.2).

### 3.14 *Rayonnement connexe*

Tout rayonnement électromagnétique dans la gamme de longueurs d'onde comprise entre 200 nm et 1 mm, excepté le rayonnement laser émis par un appareil à laser comme résultat du, ou physiquement nécessaire pour le, fonctionnement d'un laser.

### 3.15 *Faisceau collimaté*

Faisceau de rayonnement «parallèle» à très faible divergence ou convergence.

### 3.16 *Emission continue*

Emission d'un laser fonctionnant en continu et non pas en impulsion. Dans la présente norme, un laser émettant de façon continue pendant une durée supérieure à 0,25 s est considéré comme un laser à émission continue.

### 3.8 *Beam divergence (Gaussian beam)*

For purposes of hazard assessment it is the plane angle of the mean cone of rays which in any cross-section encloses 63% of the total beam power (or energy). The diameter of the circle in any cross-section is the beam diameter at that point. The circle is the separation of points where the power (or energy) intensity falls to  $1/e$  of its central peak value. If the beam diameters are  $d_1$  and  $d_2$  metres at points  $x$  metres apart the beam divergence in radians is given by:

$$\frac{(d_2 - d_1)}{x}$$

### 3.9 *Beam expander*

A combination of optical elements which will increase the diameter of a laser beam.

### 3.10 *Class 1 laser product*

Any laser product which does not permit human access to laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 1 for applicable wavelengths and emission duration (see Sub-clause 9.2).

### 3.11 *Class 2 laser product*

Any laser product which:

- a) permits human access to laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 1, but not in excess of the accessible emission limits of Class 2 in the wavelength range from 400 nm to 700 nm;
- b) does not permit human access to laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 1 for any other wavelength (see Sub-clause 9.2).

### 3.12 *Class 3A and Class 3B laser product*

Any laser product which permits human access to laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 1 and Class 2 as applicable, but which does not permit human access to laser radiation in excess of the accessible emission limits of Classes 3A and 3B (respectively) for any emission duration and wavelength (see Sub-clause 9.2).

### 3.13 *Class 4 laser product*

Any laser product which permits human access to laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 3B (see Sub-clause 9.2).

### 3.14 *Collateral duration*

Any electromagnetic radiation, within the wavelength range between 200 nm and 1 mm, except laser radiation emitted by a laser product as a result of, or physically necessary for, the operation of a laser.

### 3.15 *Collimated beam*

A "parallel" beam of radiation with very small angular divergence or convergence.

### 3.16 *Continuous wave (CW)*

The output of a laser which is operated in a continuous rather than pulsed mode. In this standard, a laser operating with a continuous output for a period greater than 0.25 s is regarded as a CW laser.

### 3.17 *Appareil à laser de démonstration*

Tout appareil à laser conçu, fabriqué, prévu ou diffusé pour les besoins de démonstration, spectacle, publicité, visualisation ou composition artistique. L'expression «appareil à laser de démonstration» ne s'applique pas aux appareils à laser qui ont été conçus pour et destinés à d'autres applications, bien qu'ils puissent être utilisés pour la démonstration de ces applications.

### 3.18 *Réflexion diffuse*

Changement de la répartition spatiale d'un faisceau de rayonnement lorsqu'il est diffusé dans plusieurs directions par une surface ou un milieu. Un diffuseur parfait détruit toute corrélation entre les directions des rayonnements incidents et émergents.

*Note.* — Cette définition diffère de celle du VEI 45-20-015.

### 3.19 *Appareil avec laser incorporé*

Dans cette norme, un appareil à laser auquel, par suite de dispositifs techniques limitant les émissions accessibles, on a assigné une classe inférieure à celle dont le laser incorporé serait justiciable.

### 3.20 *Durée d'émission*

Durée d'une impulsion, d'un train ou d'une série d'impulsions ou d'un fonctionnement continu, pendant laquelle l'accès humain à un rayonnement pourrait survenir en cours d'utilisation, d'entretien ou de réglage d'un appareil à laser.

### 3.21 *Temps d'exposition*

Durée d'une impulsion, d'une série ou d'un train d'impulsions ou d'une émission continue du rayonnement laser reçu par le corps humain.

### 3.22 *Source étendue*

Source de rayonnement laser qui est vue par l'observateur sous un angle supérieur au diamètre apparent limite ( $\alpha_{\min}$ ).

*Note.* — La source peut être un faisceau laser vu directement ou indirectement après réflexion spéculaire ou diffuse.

### 3.23 *Système à sécurité positive*

Un tel système est conçu de façon que le défaut d'un composant n'accroît pas le risque. En cas de défaut, le système est rendu inopérant ou sans danger.

### 3.24 *Verrouillage à sécurité positive*

Un verrouillage qui, en cas de défaut, ne rend pas inopérante l'action prévue, par exemple un verrouillage qui est mis dans la position arrêt aussitôt qu'un capot monté sur charnière commence à s'ouvrir, ou avant qu'un capot mobile soit enlevé et qui est positivement maintenu dans la position arrêt jusqu'à ce que le capot monté sur charnière soit fermé ou que le capot mobile soit verrouillé en position fermée.

### 3.25 *Accès humain*

Possibilité pour une partie du corps humain de recevoir un rayonnement laser dangereux, soit le rayonnement émis à partir d'une ouverture, soit par renvoi de l'intérieur d'un capot, à l'extérieur, à l'aide d'un réflecteur ou d'un guide optique, soit par insertion d'une partie du corps au travers d'une ouverture dans une enceinte à l'intérieur d'un système laser, soit par un mode de défaut de l'équipement laser.

### 3.17 *Demonstration laser product*

Any laser product designed, manufactured, intended or promoted for purposes of demonstration, entertainment, advertising, display or artistic composition. The term "demonstration laser product" does not apply to laser products which are designed and intended for other applications, although they may be used for demonstrating those applications.

### 3.18 *Diffuse reflection*

Change of the spatial distribution of a beam of radiation when it is scattered in many directions by a surface or medium. A perfect diffuser destroys all correlation between the directions of the incident and emergent radiation.

*Note.* — This definition is different from IEV 45-20-015.

### 3.19 *Embedded laser product*

In this standard a laser product which, because of engineering features limiting the accessible emissions, has been assigned a class number lower than the inherent capability of the laser incorporated.

### 3.20 *Emission duration*

The temporal duration of a pulse, of a train or series of pulses, or of continuous operation, during which human access to laser radiation could occur as a result of operation, maintenance or servicing of a laser product.

### 3.21 *Exposure time*

The duration of a pulse, or series, or train of pulses or of continuous emission of laser radiation incident upon the human body.

### 3.22 *Extended source*

A source of laser radiation which subtends an angle at the eye greater than the limiting angular subtense ( $\alpha_{\min}$ ).

*Note.* — The source may be a laser beam viewed directly or indirectly by specular or diffuse reflection.

### 3.23 *Fail safe*

The design consideration in which failure of a component does not increase the hazard. In the failure mode the system is rendered inoperative or non-hazardous.

### 3.24 *Fail safe safety interlock*

An interlock which in the failure mode does not defeat the purpose of the interlock, for example an interlock which is positively driven into the OFF position as soon as a hinged cover begins to open, or before a detachable cover is removed, and which is positively held in the OFF position until the hinged cover is closed or the detachable cover is locked in the closed position.

### 3.25 *Human access*

Capability for a part of the human body to meet hazardous laser radiation either as emitted from an aperture, by redirection from within a housing to the outside by the use of a reflector or optical guide or by insertion of part of the body through an enclosure port into the interior of the laser system; or by a failure mode of the laser equipment.

3.26 *Luminance intégrée*

Intégrale de la luminance pendant une durée d'exposition déterminée, exprimée en énergie rayonnante par unité de surface d'une surface émissive et par unité d'angle solide de l'émission (exprimée couramment en  $J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ).

3.27 *Vision dans le faisceau*

Toutes les conditions de vision, dans lesquelles l'œil est exposé au rayonnement du laser autres que la vision d'une source étendue.

3.28 *Eclairement énergétique*

En un point d'une surface, le quotient du flux énergétique reçu par un élément de la surface contenant le point, par l'aire de cet élément.

Symbole:  $E_e, E$

$$E = \frac{d\Phi_e}{dA}$$

Unité SI: watt par mètre carré ( $W \cdot m^{-2}$ )

3.29 *Laser*

Tout dispositif que l'on peut réaliser pour produire ou amplifier un rayonnement électromagnétique compris dans la gamme de longueurs d'onde de 200 nm à 1 mm essentiellement par le phénomène d'émission stimulée contrôlée.

3.30 *Zone laser contrôlée*

Zone où la présence et l'activité des personnes qui s'y trouvent sont soumises à un contrôle et à une surveillance en vue de la protection contre les risques du rayonnement.

3.31 *Alimentation laser*

Tout dispositif conçu pour être utilisé en liaison avec un laser afin de fournir de l'énergie pour l'excitation d'électrons, d'ions ou de molécules. Des sources d'énergie d'utilisation générale telles qu'un réseau d'alimentation électrique ou des batteries ne doivent pas être considérées comme constituant des alimentations laser.

3.32 *Zone de risque laser*

Voir *Zone nominale de risque optique* (paragraphe 3.46).

3.33 *Système de transmission laser à fibre optique*

Un système incluant un ou plusieurs émetteurs laser en association avec un câble de fibres optiques.

3.34 *Appareil à laser*

Tout appareil ou toute combinaison de composants qui constitue, incorpore ou est destiné à incorporer un laser ou un système à laser et qui n'est pas vendu à un autre fabricant pour être utilisé en tant que composant (ou pour remplacer un tel composant) d'un appareil électronique.

3.35 *Rayonnement laser*

Tout rayonnement électromagnétique émis par un appareil à laser, compris dans la gamme de longueurs d'onde de 200 nm à 1 mm, qui est produit par l'émission stimulée contrôlée.

### 3.26 *Integrated radiance*

The integral of the radiance over a given exposure time expressed as radiant energy per unit area of a radiating surface per unit solid angle of emission (usually expressed in  $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ).

### 3.27 *Intrabeam viewing*

All viewing conditions whereby the eye is exposed to laser radiation, other than extended source viewing.

### 3.28 *Irradiance*

At a point on a surface, the quotient of the radiant flux incident on an element of a surface containing the point by the area of that element.

Symbol:  $E_e, E$

$$E = \frac{d\Phi_e}{dA}$$

SI units: watt per square metre ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

### 3.29 *Laser*

Any device which can be made to produce or amplify electromagnetic radiation in the wavelength range from 200 nm to 1 mm primarily by the process of controlled stimulated emission.

### 3.30 *Laser controlled area*

An area where the occupancy and activity of those within is subject to control and supervision for the purpose of protection from radiation hazards.

### 3.31 *Laser energy source*

Any device intended for use in conjunction with a laser to supply energy for the excitation of electrons, ions or molecules. General energy sources such as electrical supply mains or batteries shall not be considered to constitute laser energy sources.

### 3.32 *Laser hazard area*

See *Nominal ocular hazard area* (Sub-clause 3.46).

### 3.33 *Laser fibre optic transmission system*

A system consisting of one or more laser transmitters and associated fibre optic cable.

### 3.34 *Laser product*

Any product or assembly of components which constitutes, incorporates or is intended to incorporate a laser or laser system, and which is not sold to another manufacturer for use as a component (or replacement for such component) of an electronic product.

### 3.35 *Laser radiation*

All electromagnetic radiation emitted by a laser product between 200 nm and 1 mm which is produced as a result of controlled stimulated emission.

### 3.36 *Responsable de sécurité laser*

Une personne possédant les connaissances nécessaires pour évaluer et contrôler les risques présentés par les lasers et qui est responsable de la supervision du contrôle de ces risques.

### 3.37 *Système à laser*

Laser associé à une alimentation laser appropriée avec ou sans composants supplémentaires incorporés.

### 3.38 *Appareils à laser de nivellement*

Voir *Appareil à laser d'alignement*, paragraphe 3.4.

### 3.39 *Diamètre apparent limite ( $\alpha_{\min}$ )*

Diamètre apparent d'une source laser ou d'une réflexion diffuse, vue par l'œil de l'observateur; ce diamètre apparent est employé pour marquer la différence entre la vision dans le faisceau et la vision d'une source étendue. Voir figure 8, page 90. Ce concept est discuté dans l'annexe B.

### 3.40 *Diaphragme limite*

Surface circulaire sur laquelle la moyenne d'un éclairage ou d'une exposition énergétique doit être établie.

### 3.41 *Entretien*

Exécution des réglages et procédures spécifiés dans les instructions à l'usage de l'utilisateur fournies par le fabricant avec l'appareil à laser, qui doivent être exécutés par l'utilisateur pour assurer le fonctionnement normal de l'appareil. Il ne comprend pas l'utilisation normale et le réglage.

### 3.42 *Emission maximale*

Valeur maximale de la puissance de rayonnement et, éventuellement, valeur maximale de l'énergie de rayonnement par impulsion du rayonnement laser total accessible émis dans une direction quelconque par un appareil à laser dans le domaine total de ses possibilités opérationnelles à n'importe quel moment après sa réalisation.

### 3.43 *Exposition maximale permise (EMP)*

Niveau du rayonnement laser auquel des personnes peuvent être exposées dans les conditions normales sans subir des effets nuisibles. Les niveaux EMP représentent le niveau maximal auquel l'œil ou la peau peuvent être exposés sans subir un dommage consécutif immédiatement ou après une longue durée; ces niveaux sont en rapport avec la longueur d'onde du rayonnement, la durée d'impulsion ou le temps d'exposition, le tissu exposé et, en ce qui concerne le rayonnement visible et le proche infrarouge dans le domaine 400 nm à 1400 nm, avec la dimension de l'image rétinienne. Les niveaux de l'exposition maximale permise sont (dans l'état des connaissances actuelles) spécifiés dans l'article 13. L'annexe A donne des exemples de calcul des niveaux d'EMP.

### 3.44 *Appareil à laser médical*

Tout appareil à laser fabriqué, conçu, prévu ou diffusé dans le but d'irradier une partie quelconque du corps humain à des fins de diagnostic *in vivo*, chirurgicales ou thérapeutiques.

### 3.36 *Laser safety officer*

One who is knowledgeable in the evaluation and control of laser hazards and has responsibility for oversight of the control of laser hazards.

### 3.37 *Laser system*

A laser in combination with an appropriate laser energy source with or without additional incorporated components.

### 3.38 *Levelling laser product*

See *Alignment laser product*, Sub-clause 3.4.

### 3.39 *Limiting angular subtense ( $\alpha_{\min}$ )*

The visual grade subtended by a laser source or diffuse reflection at the eye of an observer which is used to differentiate between intrabeam and extended source viewing. See Figure 8, page 90. This concept is discussed in Appendix B.

### 3.40 *Limiting aperture*

The circular area over which irradiance and radiant exposure shall be averaged.

### 3.41 *Maintenance*

The performance of those adjustments or procedures specified in user information provided by the manufacturer with the laser product, which are to be performed by the user for the purpose of assuring the intended performance of the product. It does not include operation or service.

### 3.42 *Maximum output*

The maximum radiant power, and where applicable the maximum radiant energy per pulse, of the total accessible laser radiation emitted in any direction by a laser product over the full range of operational capability at any time after manufacture.

### 3.43 *Maximum permissible exposure (MPE)*

That level of laser radiation to which, under normal circumstances, persons may be exposed without suffering adverse effects. The MPE levels represent the maximum level to which the eye or skin can be exposed without consequential injury immediately or after a long time and are related to the wavelength of the radiation, the pulse duration or exposure time, the tissue at risk and, for visible and near infra-red radiation in the range 400 nm to 1400 nm, the size of the retinal image. Maximum Permissible Exposure levels are (in the existing state of knowledge) specified in Clause 13. Appendix A gives examples of the calculations of MPE levels.

### 3.44 *Medical laser product*

Any laser product designed, manufactured, intended or promoted for purposes of *in vivo* diagnostic, surgical, or therapeutic laser irradiation of any part of the human body.

3.45 *Blocage de mode*

Dispositif ou phénomène, à l'intérieur du résonateur laser, qui produit un train d'impulsions très courtes. Bien que cela puisse être une caractéristique provoquée intentionnellement, il peut également se produire spontanément en tant qu'«autoblocage de mode». Les puissances de crête qui en résultent peuvent être beaucoup plus grandes que la puissance moyenne.

3.46 *Zone nominale de risque optique (ZNRO)*

Zone à l'intérieur de laquelle l'éclairement où l'exposition énergétique dépasse l'exposition maximale permise (EMP) appropriée sur la cornée : elle inclut la possibilité de dépointage accidentel du faisceau laser. Si la ZNRO comprend la possibilité de vision assistée par utilisation d'aides optiques, elle sera désignée par «ZNRO étendue».

3.47 *Distance nominale de risque oculaire (DNRO)*

Distance pour laquelle l'éclairement où l'exposition énergétique tombe en dessous de l'exposition maximale permise (EMP) appropriée sur la cornée. Si la DNRO comprend la possibilité de vision assistée optiquement, elle est désignée par «DNRO étendue».

3.48 *Fonctionnement*

Fonctionnement de l'appareil à laser dans le domaine complet des fonctions auxquelles il est destiné. Il ne comprend pas l'entretien ou le réglage.

3.49 *Densité optique*

Logarithme décimal de l'inverse du facteur de transmission (VEI 45-20-100).

Symbole:  $D$

$$D = -\log_{10} \tau$$

3.50 *Enceinte de protection*

Moyen physique pour empêcher l'exposition humaine au rayonnement laser à moins qu'un tel accès ne soit nécessaire pour les fonctions prévues de l'installation.

3.51 *Capot de protection*

Les parties d'un appareil à laser (y compris un appareil dans lequel un laser incorporé est compris) qui sont conçues pour empêcher l'accès humain au rayonnement laser dépassant les LEA prescrites (généralement installé par un fabricant).

3.52 *Durée d'impulsion*

Intervalle de temps entre la montée et la descente d'une impulsion, mesuré à mi-hauteur en puissance.

3.53 *Laser impulsionnel*

Laser qui délivre son énergie sous forme d'une seule impulsion ou d'un train d'impulsions. Dans la présente norme, la durée d'une impulsion est inférieure à 0,25 s.

### 3.45 *Mode-locking*

A regular mechanism or phenomenon, within the laser resonator, producing a train of very short pulses. While this may be a deliberate feature it may also occur spontaneously as “self-mode-locking”. The resulting peak powers may be significantly greater than the mean power.

### 3.46 *Nominal ocular hazard area (NOHA)*

The area within which the beam irradiance or radiant exposure exceeds the appropriate corneal maximum permissible exposure (MPE), including the possibility of accidental misdirection of the laser beam. If the NOHA includes the possibility of viewing through optical aids, this is termed the “extended NOHA”.

### 3.47 *Nominal ocular hazard distance (NOHD)*

The distance at which the beam irradiance or radiant exposure falls below the appropriate corneal maximum permissible exposure (MPE). If the NOHD includes the possibility of optically-aided viewing, this is termed the “extended NOHD”.

### 3.48 *Operation*

The performance of the laser product over the full range of its intended functions. It does not include maintenance or service.

### 3.49 *Optical density*

Logarithm to base ten of the reciprocal of the transmittance (IEV 45-20-100).

Symbol:  $D$

$$D = -\log_{10} \tau$$

### 3.50 *Protective enclosure*

A physical means for preventing human exposure to laser radiation unless such access is necessary for the intended functions of the installation.

### 3.51 *Protective housing*

Those portions of a laser product (including a product incorporating an embedded laser) which are designed to prevent human access to laser radiation in excess of the prescribed AEL (generally installed by a manufacturer).

### 3.52 *Pulse radiation*

The time increment measured between the half peak power points at the leading and trailing edges of a pulse.

### 3.53 *Pulsed laser*

A laser which delivers its energy in the form of a single pulse or a train of pulses. In this standard, the duration of a pulse is less than 0.25 s.

### 3.54 *Luminance énergétique*

Puissance du rayonnement d'une surface rayonnante par unité d'aire et par unité d'angle solide de l'émission.

Symbole:  $L$

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\theta}$$

Unité SI: watt par stéradian et par mètre carré ( $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ )

*Note.* — Cette définition est une version simplifiée du VEI 45-05-150, suffisante pour les besoins de la présente norme.  
En cas de doute, on suivra la définition du VEI.

### 3.55 *Energie de rayonnement*

Energie émise, transmise ou reçue sous forme de rayonnement (VEI 45-05-130).

Symbole:  $Q$

Unité SI: joule (J)

### 3.56 *Exposition énergétique*

En un point d'une surface, énergie de rayonnement incidente sur un élément de surface divisée par l'aire de cet élément (exprimée usuellement en  $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

Symbole:  $H$

$$H = \frac{dQ}{dA} = \int E \, dt$$

Unité SI: joule par mètre carré ( $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ )

### 3.57 *Flux énergétique: puissance de rayonnement*

Puissance émise, transmise ou reçue sous forme de rayonnement (VEI 45-05-135).

Symbole:  $\Phi_e, \Phi, P$

$$\Phi_e = \frac{dQ}{dt}$$

Unité SI: watt (W)

### 3.58 *Facteur de réflexion*

Rapport de la totalité du flux énergétique réfléchi à la totalité du flux incident (VEI 45-20-040).

Symbole:  $\rho$

### 3.59 *Connecteur de verrouillage à distance*

Connecteur électrique qui permet la connexion des commandes extérieures séparées des autres composants de l'appareil à laser (voir paragraphe 4.4).

### 3.60 *Verrouillage de sécurité*

Dispositif automatique associé au capot de protection d'un appareil à laser dans le but d'empêcher l'accès humain à un rayonnement laser de classe 3 ou de classe 4 quand cette partie du capot est enlevée.

### 3.61 *Rayonnement laser à balayage*

Rayonnement laser ayant une direction, une origine ou un diagramme de rayonnement variables dans le temps par rapport à un système fixe de référence.

3.54 *Radiance*

The radiant power per unit area of a radiation surface per unit solid angle of emission.

Symbol:  $L$

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\theta}$$

SI unit: watt per steradian per square metre ( $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Note. — This definition is a simplified version of IEV 45-05-150, sufficient for the purpose of this standard. In cases of doubt the IEV definition should be followed.

3.55 *Radiant energy*

Energy emitted, transferred, or received in the form of radiation. (IEV 45-05-130.)

Symbol:  $Q$

SI unit: joule (J)

3.56 *Radiant exposure*

At a point on a surface, the radiant energy incident on an element of a surface divided by the area of that element (usually expressed in  $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

Symbol:  $H$

$$H = \frac{dQ}{dA} = \int E \cdot dt$$

SI unit: joule per square metre ( $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ )

3.57 *Radiant flux; radiant power*

Power emitted, transferred, or received in the form of radiation (IEV 45-05-135).

Symbol:  $\Phi_e, \Phi, P$

$$\Phi_e = \frac{dQ}{dt}$$

SI unit: watt (W)

3.58 *Reflectance*

The ratio of total reflected radiant power to total incident radiant power (IEV 45-20-040).

Symbol:  $\rho$

3.59 *Remote interlock connector*

A connector which permits the connection of external controls placed apart from other components of the laser product (see Sub-clause 4.4).

3.60 *Safety interlock*

An automatic device associated with the protective housing of a laser product to prevent human access to Class 3 or Class 4 laser radiation when that portion of the housing is removed.

3.61 *Scanning laser radiation*

Laser radiation having a time-varying direction, origin or pattern of propagation with respect to a stationary frame of reference.

### 3.62 *Réglage*

Exécution des procédures ou réglages figurant dans le manuel de service du fabricant qui peuvent influencer sur un aspect quelconque des caractéristiques de l'appareil. Le réglage ne comprend pas l'entretien et le fonctionnement.

### 3.63 *Connexion de réglage*

Point d'accès dans un système de transmission à fibre optique qui est conçu pour le réglage et qui nécessite un outil pour la déconnexion.

### 3.64 *Panneau pour réglage*

Panneau d'accès qui est conçu pour être enlevé ou déplacé en vue du réglage.

### 3.65 *Réflexion spéculaire*

Réflexion à partir d'une surface, qui maintient la corrélation entre les faisceaux de rayonnement incidents et réfléchis, comme c'est le cas pour la réflexion sur un miroir.

### 3.66 *Appareil à laser de topographie*

Voir *Appareils à laser d'alignement*, paragraphe 3.4.

### 3.67 *Outil*

Désigne un tournevis, une pièce de monnaie ou tout autre objet qui peut être utilisé pour agir sur une vis ou des moyens de fixation similaires.

### 3.68 *Facteur de transmission*

Rapport du flux énergétique total transmis au flux incident total (VEI 45-20-085).

Symbole:  $\tau$

### 3.69 *Rayonnement visible: lumière*

Tout rayonnement susceptible de produire directement une sensation visuelle (VEI 45-05-025).

*Note* — Dans la présente norme cela signifie: rayonnement électromagnétique, pour lequel les longueurs d'onde des composantes monochromatiques sont comprises entre 400 nm et 700 nm.

## SECTION DEUX — PRESCRIPTIONS DE FABRICATION

### 4. *Spécifications techniques*

#### 4.1 *Remarques générales*

Il est nécessaire d'incorporer dans les appareils à laser certains dispositifs de sécurité en fonction de la classe de risque à laquelle ils ont été affectés par le fabricant. Les prescriptions relatives à ces dispositifs sont exposées dans les paragraphes 4.2 à 4.10. Le fabricant devra s'assurer que le personnel responsable de la classification des appareils à laser et des systèmes à laser a reçu une formation de niveau approprié pour lui permettre de comprendre complètement les implications du système de classification.

### 3.62 *Service*

The performance of those procedures or adjustments described in the manufacturer's service instructions, which may affect any aspect of the product's performance. It does not include maintenance or operation.

### 3.63 *Service connection*

An access point in a laser fibre optic transmission system which is designed for service and requires a tool to disconnect.

### 3.64 *Service panel*

An access panel that is designed to be removed or displaced for service.

### 3.65 *Specular reflection*

A reflection from a surface which maintains correlation between incident and reflected beams of radiation, as with reflections from a mirror.

### 3.66 *Surveying laser products*

See *Alignment laser product*, Sub-clause 3.4.

### 3.67 *Tool*

Denotes a screwdriver, a coin or other object which may be used to operate a screw or similar fixing means.

### 3.68 *Transmittance*

The ratio of total transmitted radiant power to total incident radiant power (IEV 45-20-085).

Symbol:  $\tau$

### 3.69 *Visible radiation: light*

Any radiation capable of causing a visual sensation directly (IEV 45-05-025).

*Note.* — In this standard, this is taken to mean electromagnetic radiation for which the wavelengths of the monochromatic components lie between 400 nm and 700 nm.

## SECTION TWO — MANUFACTURING REQUIREMENTS

### 4. **Engineering specifications**

#### 4.1 *General remarks*

Laser products require certain built-in safety features, depending on the class to which they have been assigned by the manufacturer. The requirements for these are given in Sub-clauses 4.2 to 4.10. The manufacturer shall ensure that the personnel responsible for the classification of laser products and systems have received training to an appropriate level which allows them to understand the full implications of the classification scheme.

#### 4.1.1 *Modification*

Si la modification d'un appareil laser précédemment classifié affecte un aspect de la performance ou des fonctions prévues de l'appareil entrant dans le domaine de cette norme, la personne ou l'organisme effectuant une telle modification doit assumer la responsabilité d'assurer une nouvelle classification et un nouvel étiquetage de l'appareil laser.

#### 4.2 *Capot de protection*

##### 4.2.1 *Généralités*

Tout appareil à laser (y compris les lasers incorporés), sans considération de classe, doit avoir un capot ou une enceinte de protection qui, lorsqu'il est en place, empêche l'accès humain pendant son fonctionnement:

- a) au rayonnement laser dépassant les LEA de la classe 1 partout où et toutes les fois que l'accès humain au rayonnement laser excédant les limites de la classe 1 n'est pas nécessaire pour remplir la (ou les) fonction(s) de l'appareil; et
- b) au rayonnement laser dépassant les limites d'émission accessibles de la classe 2 ou de la classe 3 partout où et toutes les fois que l'accès humain au rayonnement laser qui est supérieur aux limites de la classe 2 ou de la classe 3, respectivement, n'est pas nécessaire pour remplir la (ou les) fonction(s) de l'appareil.

##### 4.2.2 *Réglage*

Une partie quelconque du capot ou de l'enceinte d'un appareil à laser (y compris les appareils avec laser incorporé) qui peut être enlevée ou déplacée pour le réglage et qui permettrait l'accès à un rayonnement laser excédant les LEA assignés et qui n'est pas pourvue de sécurité (voir paragraphe 4.3) doit être fixée de telle façon que le démontage ou le déplacement de cette partie nécessite l'utilisation d'outils.

##### 4.2.3 *Système laser démontable*

Si un appareil à laser incorporé ou un système laser peut être séparé de son capot ou de son enceinte de protection et mis en service sans modification, le laser doit satisfaire aux prescriptions de fabrication des articles 4 et 5 qui conviennent à sa classe, à l'exception des appareils à laser qui sont vendus à d'autres fabricants pour être utilisés comme composants d'un système quelconque pour vente ultérieure, et qui ne sont pas soumis à la présente norme, puisque le produit final sera lui-même soumis à cette norme.

#### 4.3 *Verrouillages de sécurité*

- 4.3.1 Tout appareil à laser doit être équipé d'un verrouillage de sécurité pour chaque partie de son capot de protection conçue pour être déplacée au cours d'un fonctionnement ou d'un entretien, permettant ainsi l'accès humain au rayonnement laser émis par le laser incorporé, dépassant les LEA de la classe 1 ou de la classe 2 et les LEA de la classe assignée. Le verrouillage de sécurité doit être conçu afin d'empêcher le retrait du panneau tant que les valeurs de l'émission accessible sont supérieures aux LEA pour la classe assignée et il doit empêcher qu'une neutralisation involontaire de la sécurité n'ait pour conséquence l'émission d'un rayonnement d'une valeur supérieure aux LEA de la classe assignée.

#### 4.1.1 *Modification*

If the modification of a previously classified laser product affects any aspect of the product's performance or intended functions within the scope of this standard, the person or organization performing any such modification is responsible for ensuring the reclassification and relabelling of the laser product.

#### 4.2 *Protective housing*

##### 4.2.1 *General*

Each laser product (including embedded lasers), regardless of its class, shall have a protective housing or enclosure which, when in place, prevents human access during operation to:

- a) laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 1 wherever and whenever human access to laser radiation exceeding the limits of Class 1 is not necessary for the performance of the function(s) of the product; and
- b) laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 2 or Class 3 wherever and whenever human access to laser radiation exceeding the limits of Class 2, or Class 3 respectively, is not necessary for the performance of the function(s) of the product.

##### 4.2.2 *Service*

Any parts of the housing or enclosure of a laser product (including embedded laser products) that can be removed or displaced for service and which would allow access to laser radiation in excess of the AEL assigned and are not interlocked (see Sub-clause 4.3) shall be secured in such a way that removal or displacement of the parts requires the use of tools.

##### 4.2.3 *Removable laser system*

If an embedded laser product or a laser system can be removed from its protective housing or enclosure and operated without modification, the laser shall comply with the manufacturing requirements of Clauses 4 and 5 that are appropriate to its class, except for laser products which are sold to other manufacturers for use as components of any system for subsequent sale which are not subject to this standard, since the final product will itself be subject to this standard.

#### 4.3 *Safety interlocks*

- 4.3.1 Access panels of protective housings intended to be removed or displaced during maintenance or operation, thereby giving the human access to laser radiation from the embedded laser in excess of the AEL of Class 1 or Class 2 and the AEL of the class assigned, shall be provided with a safety interlock. The safety interlock shall be of a design which prevents the removal of the panel until accessible emission values are below the AEL for the class assigned and inadvertent resetting of the interlock shall not in itself restore emission values above the AEL of the class assigned.

4.3.2 Si un mécanisme de neutralisation volontaire est prévu, le constructeur doit également prévoir des instructions adéquates concernant les méthodes assurant la sécurité du travail. Il ne doit pas être possible de laisser en place la neutralisation quand le panneau d'accès est remis dans sa position normale. Le mécanisme de sécurité doit être clairement associé à une plaque indicatrice conforme aux prescriptions du paragraphe 5.9.2. L'utilisation de la neutralisation doit provoquer un avertissement visuel ou auditif tant que le laser est excité ou les batteries de condensateurs ne sont pas complètement déchargées, que le panneau d'accès soit ou non enlevé ou déplacé. Les avertissements visuels doivent être clairement perceptibles au travers des protecteurs oculaires spécialement conçus ou spécifiés pour la (ou les) longueur(s) d'onde du rayonnement laser accessible.

#### 4.4 *Connecteur de verrouillage à distance*

Chaque appareil à laser de la classe 3B et de la classe 4 doit comporter un connecteur de verrouillage à distance. Lorsque les bornes du connecteur ne sont pas raccordées électriquement, le rayonnement accessible ne doit pas dépasser les LEA des classes 1 et 2.

#### 4.5 *Commande à clé*

Chaque appareil à laser des classes 3A, 3B et 4 doit comporter un organe de commande principal actionné par clé. La clé doit pouvoir être retirée et le laser ne doit pas pouvoir fonctionner lorsque la clé est retirée. Dans cette norme, le terme «clé» peut désigner tout autre dispositif de commande, tel que cartes magnétiques, combinaisons chiffrées, etc.

#### 4.6 *Avertissement d'émission de rayonnement laser*

Chaque appareil à laser des classes 3A, 3B et 4 doit donner un avertissement auditif ou visuel quand il est mis en marche ou si la batterie de condensateurs des lasers pulsés est en cours de charge ou n'a pas été déchargée de façon certaine. Tout indicateur visuel doit être clairement visible à travers un protecteur oculaire conçu spécifiquement pour la(les) longueur(s) d'onde du rayonnement laser émis. Si le laser et son alimentation sont logés dans des enceintes séparées, et s'ils peuvent fonctionner lorsque la distance qui les sépare est supérieure à 2 m, aussi bien le laser que son alimentation doivent être équipés d'indicateurs d'émission visuels ou auditifs. L'indicateur (ou les indicateurs) d'émission visuel(s) doit(doivent) être placé(s) de façon que son(leur) observation ne nécessite pas l'exposition au rayonnement laser excédant les LEA des classes 1 et 2. Des sons distinctifs et clairement identifiables qui proviennent d'équipements auxiliaires (tels que des pompes ou des ventilateurs) et qui ne sont audibles que pendant l'émission du rayonnement laser peuvent être acceptables comme avertissement audible.

#### 4.7 *Arrêt de faisceau ou atténuateur*

Tout appareil à laser des classes 3A, 3B et 4 doit comporter un ou plusieurs moyens fixés à demeure (autres que : interrupteurs d'alimentation laser, connecteurs d'alimentation électrique ou clés de commande) capables d'empêcher l'accès humain au rayonnement laser excédant les LEA des classes 1 ou 2. Si un rayonnement laser de classe 2 est transmis au travers de l'atténuateur, voir le point a) du paragraphe 6.1.

#### 4.8 *Commandes*

Tout appareil à laser doit avoir les commandes situées de façon que son réglage et son fonctionnement ne nécessitent pas l'exposition au rayonnement laser dépassant les LEA des classes 1 et 2.

4.3.2 If a deliberate override mechanism is provided, the manufacturer shall also provide adequate instructions about safe methods of working. It shall not be possible to leave the override in operation when the access panel is returned to its normal position. The interlock shall be clearly associated with a label conforming to Sub-clause 5.9.2. Use of the override shall give rise to a distinct visible or audible warning whenever the laser is energized or capacitor banks are not fully discharged, whether or not the access panel is removed or displaced. Visible warnings shall be clearly visible through protective eyewear specifically designed or specified for the wavelength(s) of the accessible laser radiation.

#### 4.4 *Remote interlock connector*

Each Class 3B and Class 4 laser product shall incorporate a remote interlock connector. When the terminals of the connector are open-circuited, the accessible radiation shall not exceed the AEL for Class 1 and Class 2.

#### 4.5 *Key control*

Each Class 3A, 3B and Class 4 laser product shall incorporate a key-operated master control. The key shall be removable and the laser shall not be operable when the key is removed. In this standard, the term "key" includes any other control devices, such as magnetic cards, cipher combinations, etc.

#### 4.6 *Laser radiation emission warning*

Each Class 3A, Class 3B and Class 4 laser product shall give an audible or visible warning when it is switched on or if capacitor banks of pulsed lasers are being charged or have not been positively discharged. Any visible warning device shall be clearly visible through protective eyewear specifically designed for the wavelength(s) of the emitted laser radiation. If the laser and its energy source are separately housed, and if they can be operated at a separation distance greater than 2 m, they shall each be provided with audible or visible warning devices. The visible warning device(s) shall be located so that viewing does not require exposure to laser radiation in excess of the AEL for Class 1 and Class 2. Distinctive and clearly identifiable sounds which arise from auxiliary equipment (such as pumps or fans) and which are uniquely associated with the emission of laser radiation may be acceptable as an audible warning.

#### 4.7 *Beam stop or attenuator*

Each Class 3A, Class 3B and Class 4 laser product shall incorporate one or more permanently-attached means (other than laser energy source switch, main connector or key control) capable of preventing human access to laser radiation in excess of the AEL for Class 1 or Class 2. If Class 2 laser radiation is transmitted through the attenuator, see Item *a)* of Sub-clause 6.1.

#### 4.8 *Controls*

Each laser product shall have controls located so that adjustment and operation do not require exposure to laser radiation in excess of the AEL for Class 1 and Class 2.

#### 4.9 Optiques d'observation

Toutes les optiques d'observation, regards ou écrans de visualisation incorporés à un appareil à laser doivent assurer une atténuation suffisante pour empêcher l'accès humain au rayonnement laser dépassant les LEA de la classe 1, et pour tout obturateur ou atténuateur variable incorporé dans les optiques d'observation, regards ou écrans de visualisation, des mesures doivent être prises pour:

- a) empêcher l'accès humain au rayonnement laser dépassant les LEA pour la classe 1 tant que l'obturateur est ouvert ou que l'atténuation est modifiée;
- b) empêcher l'ouverture de l'obturateur ou la manœuvre de l'atténuateur, lorsque l'exposition à un rayonnement laser dépassant les LEA de la classe 1 est possible.

#### 4.10 Sécurité de balayage

Les appareils à laser destinés à émettre un rayonnement à balayage, et classifiés sur cette base, ne doivent pas, en cas d'avarie de balayage, ou d'une modification soit de la vitesse de balayage, soit de l'amplitude du balayage, permettre l'accès humain au rayonnement laser dépassant les LEA de la classe appropriée.

### 5. Etiquetage

#### 5.1 Généralités

Tout appareil à laser doit être muni de plaque(s) indicatrice(s) conformément aux prescriptions contenues dans les articles suivants. Les plaques indicatrices doivent être fixées de façon permanente, lisibles et clairement visibles au cours du fonctionnement, de l'entretien ou du réglage, suivant le cas. Elles doivent être placées de façon que leur lecture ne nécessite pas l'exposition humaine au rayonnement laser dépassant les LEA de la classe 1. Les lignes entourant le texte et les symboles doivent être en noir sur fond jaune.

Si la taille ou la conception de l'appareil rendent l'étiquetage impossible, la plaque indicatrice devra être reproduite dans le guide de l'utilisateur ou placée sur l'emballage.

#### 5.2 Classe 1

Sur tout appareil à laser de classe 1 doit être fixée une plaque indicatrice (figure 15, page 99) portant les mots:

**APPAREIL À LASER DE CLASSE 1**

#### 5.3 Classe 2

Sur tout appareil à laser de classe 2 doit être fixée une plaque d'avertissement (figure 14, page 98) et une plaque indicatrice (figure 15) portant les mots:

**RAYONNEMENT LASER  
NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU  
APPAREIL À LASER DE CLASSE 2**

#### 5.4 Classe 3A

Sur tout appareil à laser de classe 3A doit être fixée une plaque d'avertissement (figure 14) et une plaque indicatrice (figure 15) portant les mots:

**RAYONNEMENT LASER  
NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU  
NI À L'ŒIL NU NI À L'AIDE D'UN INSTRUMENT D'OPTIQUE  
APPAREIL À LASER DE CLASSE 3A**

#### 4.9 *Viewing optics*

Any viewing optics, viewport or display screen incorporated in a laser product shall provide sufficient attenuation to prevent human access to laser radiation in excess of the AEL for Class 1, and for any shutter or variable attenuator incorporated in the viewing optics, viewport or display screen, a means shall be provided to:

- a) prevent human access to laser radiation in excess of the AEL for Class 1 when the shutter is opened or the attenuation varied;
- b) prevent opening of the shutter or variation of the attenuator when exposure to laser radiation in excess of the AEL for Class 1 is possible.

#### 4.10 *Scanning safeguard*

Laser products intended to emit scanned radiation, and classified on this basis, shall not, as a result of scan failure or of variation in either scan velocity or amplitude, permit human access to laser radiation in excess of the AEL for the assigned class.

### 5. **Labelling**

#### 5.1 *General*

Each laser product shall carry label(s) in accordance with the requirements of the following clauses. The labels shall be permanently fixed, legible, and clearly visible during operation, maintenance or service, according to their purpose. They shall be so positioned that they can be read without the necessity for human exposure to laser radiation in excess of the AEL for Class 1. Text borders and symbols shall be black on a yellow background.

If the size or design of the product makes labelling impractical, the label should be included with the user information or on the package.

#### 5.2 *Class 1*

Each Class 1 laser product shall have affixed an explanatory label (Figure 15, page 99), bearing the words:

**CLASS 1 LASER PRODUCT**

#### 5.3 *Class 2*

Each Class 2 laser product shall have affixed a warning label (Figure 14, page 98) and an explanatory label (Figure 15) bearing the words:

**LASER RADIATION  
DO NOT STARE INTO BEAM  
CLASS 2 LASER PRODUCT**

#### 5.4 *Class 3A*

Each Class 3A laser product shall have affixed a warning label (Figure 14) and an explanatory label (Figure 15) bearing the words:

**LASER RADIATION  
DO NOT STARE INTO BEAM OR VIEW  
DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS  
CLASS 3A LASER PRODUCT**

5.5 *Classe 3B*

Sur tout appareil à laser de classe 3B doit être fixée une plaque d'avertissement (figure 14) et une plaque indicatrice (figure 15) portant les mots:

**RAYONNEMENT LASER  
EXPOSITION AU FAISCEAU DANGEREUSE  
APPAREIL À LASER DE CLASSE 3B**

5.6 *Classe 4*

Sur tout appareil à laser de classe 4 doit être fixée une plaque d'avertissement (figure 14) et une plaque indicatrice (figure 15) portant les mots:

**RAYONNEMENT LASER  
EXPOSITION DANGEREUSE DE L'ŒIL OU DE LA PEAU  
AU RAYONNEMENT DIRECT OU DIFFUS  
APPAREIL À LASER DE CLASSE 4**

5.7 *Plaque indicatrice d'ouverture*

Sur tout appareil à laser des classes 3B et 4 doit être fixée une plaque tout près de chaque ouverture à travers laquelle est émis un rayonnement laser dépassant les LEA de la classe 1 ou de la classe 2. La plaque doit porter les mots:

**OUVERTURE LASER**

ou

**EXPOSITION DANGEREUSE — UN RAYONNEMENT LASER EST  
ÉMIS PAR CETTE OUVERTURE**

5.8 *Information sur le rayonnement émis*

La plaque indicatrice de tout appareil à laser (à l'exception de ceux de classe 1) doit mentionner (figure 15) la puissance maximale du rayonnement laser émis, la durée de l'impulsion (s'il y a lieu) et la(les) longueur(s) d'onde émises.

5.9 *Plaques indicatrices pour les panneaux d'accès*

5.9.1 *Plaques indicatrices pour les panneaux*

Toute connexion, tout panneau d'un capot de protection et tout panneau d'accès d'une enceinte de protection qui, une fois enlevé ou déplacé, permet l'accès humain au rayonnement laser dépassant les LEA de classe 1 doit comporter une plaque portant les mots:

**ATTENTION — RAYONNEMENT LASER EN CAS D'OUVERTURE**

En plus, la plaque doit comporter les mots:

a) **NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU**  
si le rayonnement accessible ne dépasse pas les LEA de la classe 2;

b) **NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU  
NI À L'ŒIL NI À L'AIDE D'INSTRUMENTS D'OPTIQUE**  
si le rayonnement accessible ne dépasse pas les LEA de la classe 3A;

c) **EXPOSITION DANGEREUSE AU FAISCEAU**  
si le rayonnement accessible ne dépasse pas les LEA de la classe 3B;

d) **EXPOSITION DANGEREUSE DE L'ŒIL OU DE LA PEAU  
AU RAYONNEMENT DIRECT OU DIFFUS**  
si le rayonnement accessible dépasse les limites de la classe 3B à toute longueur d'onde.

### 5.5 Class 3B

Each Class 3B laser product shall have affixed a warning label (Figure 14) and an explanatory label (Figure 15) bearing the words:

**LASER RADIATION  
AVOID EXPOSURE TO BEAM  
CLASS 3B LASER PRODUCT**

### 5.6 Class 4

Each Class 4 laser product shall have affixed a warning label (Figure 14) and an explanatory label (Figure 15) bearing the words:

**LASER RADIATION  
AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE TO  
DIRECT OR SCATTERED RADIATION  
CLASS 4 LASER PRODUCT**

### 5.7 Aperture label

Each Class 3B and Class 4 laser product shall have affixed a label close to each aperture through which laser radiation in excess of the AEL for Class 1 or Class 2 is emitted. The label(s) shall bear the words:

**LASER APERTURE**

or

**AVOID EXPOSURE — LASER RADIATION IS  
EMITTED FROM THIS APERTURE**

### 5.8 Radiation output information

Each laser product (except those of Class 1) shall be described on the explanatory label (Figure 15) by statements of the maximum output of laser radiation, the pulse duration (if appropriate) and the emitted wavelength(s).

### 5.9 Labels for access panels

#### 5.9.1 Labels for panels

Each connection, each panel of a protective housing and each access panel of a protective enclosure which when removed or displaced permits human access to laser radiation in excess of the AEL for Class 1 shall have affixed a label bearing the words:

**CAUTION — LASER RADIATION WHEN OPEN**

In addition, this label shall bear the words:

- a) **DO NOT STARE INTO BEAM**  
if the accessible radiation does not exceed the AEL for Class 2;
- b) **DO NOT STARE INTO BEAM OR  
VIEW DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS**  
if the accessible radiation does not exceed the AEL for Class 3A;
- c) **AVOID EXPOSURE TO BEAM**  
if the accessible radiation does not exceed the AEL for Class 3B;
- d) **AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE TO  
DIRECT OR SCATTERED RADIATION**  
if the accessible radiation exceeds the limits for Class 3B at any wavelength.

### 5.9.2 *Plaques indicatrices pour panneaux à verrouillage de sécurité*

Des plaques convenables doivent être clairement associées à chaque verrouillage de sécurité, qui peut être rapidement neutralisé et qui pourrait alors permettre l'accès humain au rayonnement laser dépassant les limites de la classe 1. De telles plaques doivent être visibles avant et pendant l'opération de neutralisation de la sécurité et être toutes proches de l'ouverture créée par l'enlèvement du capot de protection et doivent porter les mots:

**ATTENTION — RAYONNEMENT LASER DANGEREUX  
EN CAS D'OUVERTURE ET LORSQUE LA SÉCURITÉ  
EST NEUTRALISÉE**

De plus, cette plaque portera les mots spécifiés aux points *a)*, *b)*, *c)*, et *d)* du paragraphe 5.9.1.

### 5.10 *Avertissement pour rayonnement laser invisible*

Dans de nombreux cas, l'inscription prescrite pour des plaques indicatrices comporte l'expression «rayonnement laser». Si les longueurs d'onde du rayonnement laser sont en dehors du domaine compris entre 400 nm et 700 nm, l'expression doit être modifiée pour devenir: «Rayonnement laser invisible», ou si les longueurs d'onde du rayonnement laser sont à la fois en dedans et en dehors du domaine compris entre 400 nm et 700 nm, l'expression devient «Rayonnement laser visible et invisible».

## 6. **Autres prescriptions relatives aux renseignements à fournir**

### 6.1 *Renseignements pour l'utilisateur*

Les fabricants d'appareils à laser doivent fournir (ou faire en sorte que soient fournies) avec tout appareil à laser les indications suivantes qui feront partie intégrante de toute notice d'emploi ou d'instructions pour l'utilisateur, qui est régulièrement fournie avec l'appareil:

- a)* Les instructions adéquates pour le montage correct, l'entretien et l'utilisation sans danger comprenant clairement des avertissements concernant les précautions à prendre pour éviter l'éventualité de l'exposition aux rayonnements laser dangereux.
- b)* L'indication en unités appropriées de la divergence du faisceau pour les faisceaux collimatés, de la durée d'impulsion et de la puissance maximale d'émission, avec les erreurs de mesure cumulées et de toute augmentation prévisible des quantités mesurées à un moment quelconque après la fabrication qui pourrait s'ajouter aux valeurs mesurées au moment de la fabrication (il n'est pas nécessaire de spécifier les durées d'impulsions résultant d'un blocage de mode à caractère accidentel; toutefois, les conditions associées à l'appareil, reconnues comme étant la cause d'un blocage de mode à caractère accidentel, doivent être spécifiées).
- c)* Des reproductions lisibles (couleur facultative) de toutes les inscriptions et avertissements devant être fixés sur l'appareil à laser ou fournis avec l'appareil à laser. Il convient d'indiquer l'emplacement correspondant de chaque plaque d'inscription fixée sur l'appareil ou, si fournies avec l'appareil, de signaler que de telles plaques ne pouvaient pas être fixées sur l'appareil, mais qu'elles ont été fournies avec l'appareil, en précisant sous quelle forme et de quelle manière elles ont été fournies.
- d)* Une indication claire dans la notice de toutes les positions des ouvertures laser.
- e)* Une liste des commandes, réglages et procédures relatifs au fonctionnement et à la maintenance, comportant l'avertissement «Attention — l'utilisation des commandes ou réglages ou l'exécution des procédures autres que celles spécifiées dans les présentes prescriptions, peuvent être cause d'une exposition à un rayonnement dangereux».
- f)* Pour les appareils à laser qui n'incorporent pas l'alimentation en énergie nécessaire à l'émission laser, l'indication des conditions de compatibilité de l'alimentation laser qui assureront la sécurité.

### 5.9.2 Labels for safety interlocked panels

Appropriate labels shall be clearly associated with each safety interlock which may be readily overridden and which would then permit human access to laser radiation in excess of the AEL of Class 1. Such labels shall be visible prior to and during interlock override and be in close proximity to the opening created by the removal of the protective housing and shall bear the words:

**CAUTION — LASER RADIATION WHEN OPEN  
AND INTERLOCKS DEFEATED**

In addition, this label shall bear the words specified in Items *a)*, *b)*, *c)*, and *d)* of Sub-clause 5.9.1.

### 5.10 Warning for invisible laser radiation

In many cases, the wording prescribed for explanatory labels includes the phrase "laser radiation". If the output of the laser is outside the wavelength range 400 nm to 700 nm, this shall be modified to read "Invisible laser radiation", or if the output is at wavelengths both inside and outside this wavelength range, to read "Visible and invisible laser radiation".

## 6. Other informational requirements

### 6.1 Information for the user

Manufacturers of laser products shall provide (or see to the provision of) as an integral part of any user instruction or operation manual which is regularly supplied with the laser product:

- a)* Adequate instructions for proper assembly, maintenance, and safe use including clear warnings concerning precautions to avoid possible exposure to hazardous laser radiation.
- b)* A statement in appropriate units of beam divergence for collimated beams, pulse duration and maximum output, with the magnitudes of the cumulative measurement uncertainty and any expected increase in the measured quantities at any time after manufacture added to the values measured at the time of manufacture (duration of pulses resulting from unintentional mode-locking need not be specified; however, those conditions associated with the product known to result in unintentional mode-locking shall be specified).
- c)* Legible reproductions (colour optional) of all required labels and hazard warnings to be affixed to the laser product or provided with the laser product. The corresponding position of each label affixed to the product shall be indicated or, if provided with the product, a statement that such labels could not be affixed to the product but were supplied with the product and a statement of the form and manner in which they were supplied shall be provided.
- d)* A clear indication in the manual of all locations of laser apertures.
- e)* A listing of controls, adjustments and procedures for operation and maintenance, including the warning "Caution—use of controls or adjustments or performance of procedures other than those specified herein may result in hazardous radiation exposure."
- f)* In the case of laser products that do not incorporate the laser energy source necessary for laser emission, a statement of the compatibility requirements for a laser energy source to ensure safety.

## 6.2 Renseignements pour l'achat et l'entretien

Les fabricants d'appareils à laser doivent fournir ou faire en sorte que soient fournies:

- a) Dans tous les catalogues, les feuilles de spécifications et les brochures descriptives relatives à chaque appareil à laser, une reproduction lisible (couleur facultative) des plaques de classification requises (paragraphe 5.3 à 5.6) devant être fixées sur chaque appareil.
- b) Aux services d'entretien et aux distributeurs, et à tout autre sur demande, des instructions adéquates relatives aux réglages et aux procédures de réglage pour chaque modèle d'appareil à laser; ces instructions doivent comprendre des avertissements clairs et des précautions à prendre pour éviter la possibilité d'une exposition au rayonnement et un plan de maintenance nécessaire pour conserver l'appareil en conformité avec les prescriptions. Dans toutes les instructions d'entretien, on fournira une liste des moyens et procédures qui pourraient être utilisés par des personnes autres que le fabricant ou ses agents pour augmenter les niveaux d'émission accessible de rayonnement. On fournira une description claire de l'emplacement des parties amovibles du capot de protection qui pourraient permettre l'accès au rayonnement laser dépassant les limites d'émission accessible des tableaux I, II, III, et IV. Les instructions doivent comporter des procédures de protection pour le personnel d'entretien et des reproductions lisibles (couleur facultative) des plaques d'inscription et des avertissements requis.

## 7. Prescriptions additionnelles pour appareils à laser spécifiques

### 7.1 Appareils à laser médicaux

Tout appareil à laser médical doit être conforme à toutes les prescriptions applicables pour les appareils à laser de sa classe. En plus, les fabricants doivent:

- a) Pour les appareils à laser des classes 3B ou 4, incorporer dans chaque appareil à laser médical un moyen de mesure du niveau de rayonnement laser destiné à l'irradiation du corps humain avec une erreur de mesure inférieure à  $\pm 20\%$ . La mesure doit être indiquée en unités du Système International.
- b) Fournir avec chaque appareil à laser médical les instructions spécifiant une procédure et un plan d'étalonnage du système de mesure.
- c) Fournir un dispositif indiquant la cible pour les appareils à laser des classes 3B et 4.

### 7.2 Système de transmission laser à fibre optique\*

Les systèmes à laser qui emploient la transmission par fibre optique doivent avoir des connexions de câble destinées au réglage, qui nécessitent l'utilisation d'un outil pour les déconnecter si la LEA pour la classe 1 est dépassée quand la déconnexion est établie et si ces connexions de câble font partie du capot de protection. Il faut également prendre soin d'incorporer des atténuateurs de faisceau mécaniques sur les connecteurs si le réglage est effectué dans une zone de travail non protégée. Une certaine longueur de câble en fibre optique peut atténuer de façon suffisante la puissance laser émise si bien que la longueur de câble elle-même constitue une partie du capot de protection.

\* A la réunion d'Ottawa en octobre 1979 du Sous-Comité 46E: Fibres optiques, un groupe de travail sur la sécurité des fibres optiques a été constitué.

## 6.2 *Purchasing and servicing information*

Manufacturers of laser products shall provide or cause to be provided:

- a) In all catalogues, specification sheets and descriptive brochures pertaining to each laser product, a legible reproduction (colour optional) of the required classification labels (Sub-clauses 5.3 to 5.6) to be affixed.
- b) To servicing dealers and distributors, and to others upon request, adequate instructions for service adjustments and service procedures for each laser product model which includes clear warnings and precautions to be taken to avoid possible exposure to radiation and a schedule of maintenance necessary to keep the product in compliance; and, in all such service instructions a listing of those controls and procedures which could be utilized by persons other than the manufacturer or his agents to increase accessible emission levels of radiation, and a clear description of the location of displaceable portions of the protective housing which could allow access to laser radiation in excess of the accessible limits in Tables I, II, III and IV. The instructions shall include protective procedures for service personnel, and legible reproductions (colour optional) of required labels and hazard warnings.

## 7. **Additional requirements for specific laser products**

### 7.1 *Medical laser products*

Each medical laser product shall comply with all of the applicable requirements for laser products of its class. In addition, the manufacturers shall:

- a) For Class 3B or Class 4 laser products, incorporate in each medical laser product a means for the measurement of the level of that laser radiation intended for irradiation of the human body with an error in measurement of no more than  $\pm 20\%$ . Indication of the measurement shall be in SI units.
- b) Supply with each medical laser product instructions specifying a procedure and schedule for calibration of the measurement system.
- c) Provide a target-indicating device for Class 3B and Class 4 laser products.

### 7.2 *Laser fibre optic transmission system\**

Laser systems which employ fibre optic transmission shall have cable service connections which require a tool for disconnection if the AEL for Class 1 is exceeded when disconnected and if such cable connections form part of the protective housing. Consideration should also be given to incorporating mechanical beam attenuators at connectors if service is anticipated in an unsupervised work area. A length of fibre optic cable may sufficiently attenuate the transmitted laser radiant power such that the length of the cable itself forms part of the protective housing.

\* At the October 1979 Ottawa meeting of Sub-Committee 46E: Fibre Optics, a working group on fibre optic safety was established.

## 8. Essais

### 8.1 Généralités

Les essais doivent tenir compte de toutes les erreurs et toutes les incertitudes statistiques dans le processus de mesure ainsi que des augmentations d'émission et de la dégradation de la sécurité de rayonnement dans le temps.

Les prescriptions pour les utilisations spéciales peuvent imposer des essais complémentaires.

Les essais pour chacune des prescriptions applicables doivent être exécutés au cours du fonctionnement, de l'entretien ou du réglage, selon le cas.

Des essais ou procédures équivalents peuvent être acceptés.

### 8.2 Mesures des niveaux de rayonnement laser en vue de déterminer la classification

Des mesures des niveaux de rayonnement laser peuvent être nécessaires pour classer un appareil à laser selon le paragraphe 9.1. Les mesures ne sont pas nécessaires quand les caractéristiques physiques ou les limitations de la source laser placent clairement l'appareil à laser ou l'installation laser dans une classe particulière.

Les mesures doivent être effectuées dans les conditions suivantes :

- a) Suivant les conditions et les procédures qui portent au maximum les niveaux d'émission accessible, comprenant la mise en route, l'émission en fonctionnement stable et l'arrêt de l'appareil à laser;
- b) Avec toutes les commandes et réglages énumérés dans les instructions d'emploi, d'entretien et de réglage ajustés conjointement pour donner le niveau de rayonnement maximal accessible;
- c) Aux points de l'espace où l'accès humain est possible au cours du fonctionnement pour mesurer les niveaux d'émission accessible (par exemple, si le fonctionnement peut exiger le démontage de certaines parties du capot de protection et l'annulation des sécurités de verrouillage, des mesures doivent être effectuées aux points accessibles dans cette configuration de l'appareil).
- d) Avec le détecteur de l'instrument de mesure positionné et orienté par rapport à l'appareil à laser de façon telle qu'il en résulte une détection maximale de rayonnement par l'instrument.
- e) Pour un appareil à laser autre qu'un système laser, avec le laser couplé au type d'alimentation laser spécifié comme étant compatible par le fabricant de l'appareil à laser et qui produit le niveau d'émission maximal de rayonnement accessible à partir de cet appareil.
- f) Pour les valeurs exprimées en unités de puissance rayonnante (W) ou d'énergie rayonnante (J), détectables à l'intérieur d'un diaphragme de forme circulaire ayant un diamètre de 80 mm (pour simuler le recueil par un instrument d'optique d'un faisceau laser stationnaire).
- g) Pour les valeurs exprimées en unités d'éclairement énergétique ( $W \cdot m^{-2}$ ) ou d'exposition énergétique ( $J \cdot m^{-2}$ ) en valeur moyenne sur un diaphragme de forme circulaire ayant un diamètre de 7 mm.

## 8. Tests

### 8.1 General

Tests shall take into account all errors and statistical uncertainties in the measurement process and increases in emission and degradation in radiation safety with age.

Specific use requirements may impose additional tests.

Tests for each of the applicable requirements shall be made during operation, maintenance or service as appropriate.

Equivalent tests or procedures are acceptable.

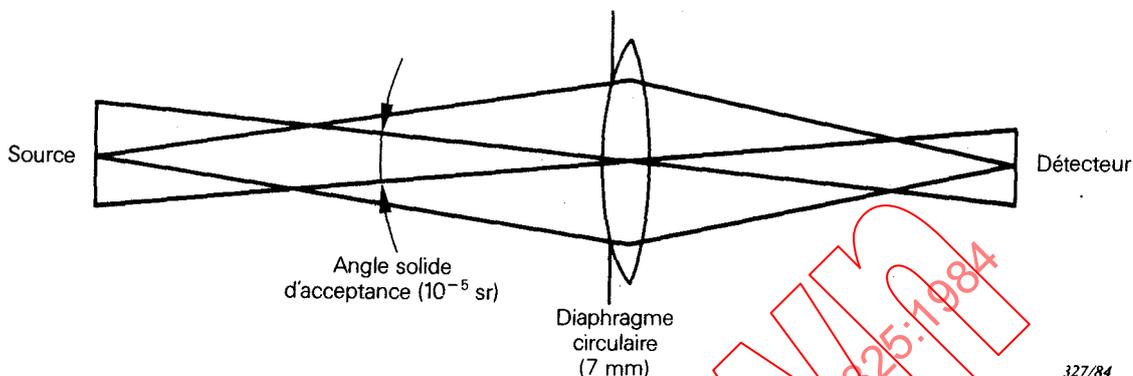
### 8.2 Measurements of laser radiation for determining classification

Measurement of laser radiation levels may be necessary to classify a laser product in accordance with Sub-clause 9.1. Measurements are unnecessary when the physical characteristics and limitations of the laser source place the laser product or laser installation clearly in a particular class.

Measurements shall be made under the following conditions:

- a) Under those conditions and procedures which maximize the accessible emission levels, including start-up, stabilized emission, and shut-down of the laser product.
- b) With all controls and adjustments listed in the operation, maintenance, and service instructions adjusted in combination to result in the maximum accessible level of radiation.
- c) At points in space to which human access is possible during operation for measurement of accessible emission levels, (e.g. if operation may require removal of portions of the protective housing and defeat of safety interlocks, measurements shall be made at points accessible in that product configuration).
- d) With the measuring instrument detector so positioned and so oriented with respect to the laser product as to result in the maximum detection of radiation by the instrument.
- e) For a laser product other than a laser system, with the laser coupled to that type of laser energy source which is specified as compatible by the laser product manufacturer and which produces the maximum emission of accessible radiation from the product.
- f) For values expressed in radiant power (W) or radiant energy (J), within a circular aperture stop of diameter 80 mm (to simulate the collection by an optical instrument of a stationary laser beam).
- g) For values expressed in irradiance ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) or radiant exposure ( $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ ) averaged over a circular stop of diameter 7 mm.

- h) Pour les valeurs exprimées en luminance ou en luminance intégrée, 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 et à l'intérieur d'un angle solide effectif possédant une acceptation de  $10^{-5}$  sr, comme illustré dans le schéma ci-dessous.



- i) Pour le rayonnement laser à balayage, à l'intérieur d'un diaphragme fixe de forme circulaire ayant un diamètre de 7 mm (la variation temporelle résultant du rayonnement détecté doit être considérée comme une impulsion ou une série d'impulsions).
- j) Pour les domaines de longueurs d'onde qui s'étendent de 400 nm à 1 400 nm, à l'intérieur d'un angle solide effectif ayant une acceptation de  $5 \times 10^{-4}$  sr, exception faite pour les mesures de luminance ou de luminance intégrée.
- k) Des précautions appropriées doivent être prises pour éviter ou éliminer la contribution de rayonnements connexes à la mesure.

## 9. Classification

### 9.1 Introduction

En raison de l'étendue des valeurs possibles pour la longueur d'onde, l'énergie et les caractéristiques d'impulsions d'un faisceau laser, les risques causés par leur utilisation sont très variables. Il n'est pas possible de considérer les lasers comme un seul groupe, auquel des limites de sécurité communes peuvent être appliquées.

### 9.2 Définitions des classes laser

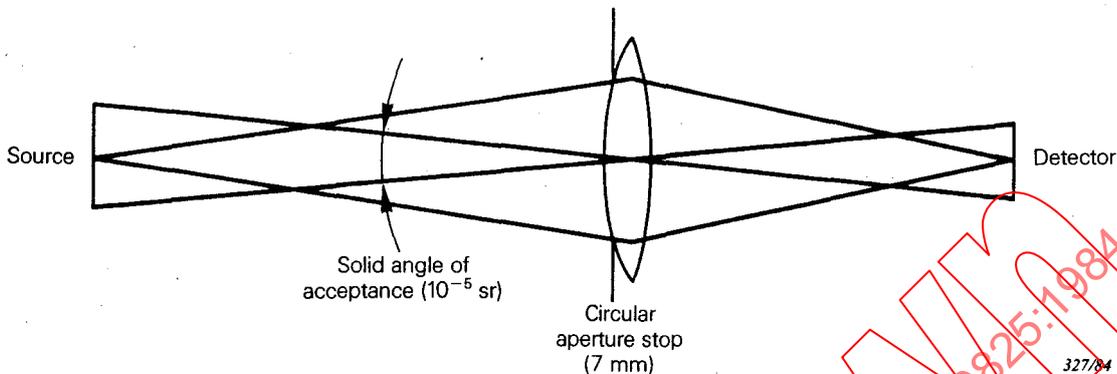
Les appareils à laser sont groupés en quatre classes générales; les limites d'émission accessible (LEA) sont spécifiées pour chacune d'elles.

Les lasers de la classe 1 sont ceux qui sont intrinsèquement sans danger (de sorte que le niveau de l'exposition maximale permise ne peut en aucun cas être dépassé) ou qui sont sans danger, en raison de leur conception technique. Les limites supérieures sont données dans le tableau I et sont dérivées des valeurs de EMP les plus limitatives.

Les lasers de la classe 2 sont des dispositifs à faible puissance émettant un rayonnement visible (dans la gamme de longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 700 nm) et qui peuvent fonctionner soit en émission continue soit en impulsions. La puissance ou l'énergie émise par ces systèmes est limitée aux LEA de la classe 1 pour des durées d'exposition allant jusqu'à 0,25 s. Pour un laser continue la limite est de 1 mW.

*Note.* — Ces lasers ne sont pas intrinsèquement sans danger mais la protection de l'œil est normalement assurée par les réflexes de défense comprenant le réflexe palpébral.

- h)* For values expressed as radiance or integrated radiance by measuring the radiant power (W) or radiant energy (J) detectable through a circular aperture stop having a diameter of 7 mm and within an effective solid angle of acceptance of  $10^{-5}$  sr as illustrated in the diagram below.



- i)* For scanned laser radiation within a stationary circular aperture stop having a 7 mm diameter. (The resulting temporal variation of detected radiation shall be considered as a pulse or series of pulses.)
- j)* For the wavelength range from 400 nm to 1400 nm within an effective solid angle of acceptance of  $5 \times 10^{-4}$  sr, except for measurements of radiance or integrated radiance.
- k)* Appropriate provision shall be made to avoid or to eliminate the contribution of collateral radiation to the measurement.

## 9. Classification

### 9.1 Introduction

Because of the wide ranges possible for the wavelength, energy content and pulse characteristics of a laser beam, the hazards arising in their use vary widely. It is impossible to regard lasers as a single group to which common safety limits can apply.

### 9.2 Definition of laser classes

Laser products are grouped into four general classes for each of which accessible emission limits (AELs) are specified.

Class 1 lasers are those that are inherently safe (so that the maximum permissible exposure level cannot be exceeded under any condition) or are safe by virtue of their engineering design. The upper limits are given in Table I and are derived from the most limiting MPE values.

Class 2 lasers are low power devices emitting visible radiation (in the wavelength range 400 nm to 700 nm) and which may operate in either CW or pulsed mode. The output power or energy of these systems is limited to the AEL's of Class 1 for exposure durations up to 0.25 s. For a CW laser the limit is 1 mW.

*Note.* — These lasers are not intrinsically safe but eye protection is normally afforded by aversion responses including the blink reflex.

Les lasers de la classe 3A sont ceux qui ont une puissance de sortie jusqu'à 5 mW pour les lasers continus ou de cinq fois la limite de la classe 2 pour les lasers à impulsions répétitives ou à balayage dans la région spectrale de 400 nm à 700 nm. Toutefois, l'éclairement en un point quelconque du faisceau visible ne doit pas dépasser  $25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (voir tableau III). Pour les autres régions spectrales le rayonnement laser ne doit pas dépasser cinq fois les LEA de la classe 1 et l'éclairement ou l'exposition énergétique de sortie donnés dans le tableau III ne doivent également pas être dépassés.

*Note.* — La vision directe dans le faisceau de lasers de la classe 3A à l'aide d'instruments d'optique (par exemple des jumelles) peut être dangereuse. Pour les lasers émettant dans le domaine de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, la protection de l'œil nu est assurée par les réflexes de défense comprenant le réflexe palpébral.

Les lasers de la classe 3B peuvent émettre un rayonnement visible et/ou invisible à des niveaux qui ne dépassent pas les LEA spécifiées dans le tableau IV. Les lasers continus ne peuvent dépasser 0,5 W et l'exposition énergétique provenant des lasers pulsés doit être inférieure à  $10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ .

*Note.* — La vision directe dans le faisceau près de ces dispositifs est toujours dangereuse. La vision de faisceaux laser non focalisés par réflexion diffuse n'est pas dangereuse et sous certaines conditions des faisceaux laser continus peuvent être visualisés sans danger grâce à un réflecteur diffusant. Ces conditions sont :

- a) une distance minimale de vision de 13 cm;
- b) un temps de vision maximal de 10 s.

Si au moins une de ces conditions n'est pas satisfaite, une évaluation précise du danger potentiel de réflexion diffuse est nécessaire.

Les lasers de la classe 4 sont des dispositifs de haute puissance avec des puissances de sortie dépassant les LEA spécifiées dans le tableau IV pour la classe 3B.

*Note.* — Les lasers des domaines visible et infrarouge A de la classe 4 sont capables de produire des réflexions diffuses dangereuses. Ils peuvent causer des dommages sur la peau et peuvent aussi constituer un danger d'incendie. Leur utilisation requiert des précautions extrêmes.

### 9.3 Procédure de classification

Le fabricant ou son agent est responsable de la classification correcte d'un appareil à laser. L'appareil doit être classé sur la base d'une combinaison de la (ou des) puissance(s) de sortie et de la (ou des) longueur(s) d'onde du rayonnement laser accessible émis dans tout le domaine des possibilités opérationnelles de cet appareil, à un moment quelconque après sa fabrication. La combinaison choisie conduit à adopter la classe appropriée la plus élevée. Les limites d'émission accessible (LEA) pour les classes 1, 2, 3A et 3B (inscrites par ordre de risque croissant) sont indiquées respectivement aux tableaux I, II, III et IV.

Les valeurs des quatre facteurs de correction utilisés sont données dans les notes aux tableaux I à IV en fonction de la longueur d'onde et de la durée d'émission.

Les règles pour l'affectation d'un laser à une classe particulière sont les suivantes :

#### a) Rayonnement à une seule longueur d'onde

Un appareil à laser à une seule longueur d'onde est assigné à une classe quand le rayonnement laser passant au travers de l'ouverture dépasse les limites d'émission accessible (LEA) de toutes les classes inférieures mais ne dépasse pas celles de la classe assignée.

#### b) Rayonnement de longueurs d'onde multiples

- 1) Un appareil à laser émettant deux ou plusieurs longueurs d'onde dans des régions spectrales considérées comme additives dans le tableau V, est assigné à une classe quand la somme des rapports du rayonnement laser passant au travers de l'ouverture aux LEA de ces longueurs d'onde dépasse l'unité pour toutes les classes inférieures mais ne dépasse pas l'unité pour la classe assignée.
- 2) Un appareil à laser émettant deux ou plusieurs longueurs d'onde non considérées comme additives dans le tableau V est assigné à une classe quand le rayonnement laser passant au travers de l'ouverture dépasse les LEA de toutes les classes inférieures pour toute longueur d'onde mais ne dépasse pas la LEA de la classe assignée pour toute longueur d'onde.

Class 3A lasers are those that have an output power of up to 5 mW for CW lasers or five times the Class 2 limit for repetitively-pulsed and scanning lasers for the spectral region of 400 nm to 700 nm. However, the irradiance at any point in the visible beam must not exceed  $25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (see Table III). For other spectral regions the laser radiation must not exceed five times the AEL for Class 1 and the output irradiance or radiant exposure listed in Table III must also not be exceeded.

*Note.* — Direct intrabeam viewing of Class 3A laser beams with optical aids (e.g., binocular telescopes) may be hazardous. For lasers emitting in the range from 400 nm to 700 nm, protection to the unaided eye is afforded by aversion responses including the blink reflex.

Class 3B lasers may emit visible and/or invisible radiation at levels not exceeding the AEL's specified in Table IV. CW lasers may not exceed 0.5 W and the radiant exposure from pulsed lasers must be less than  $10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ .

*Note.* — Direct intrabeam viewing near these devices is always hazardous. Viewing unfocused pulsed laser radiation by diffuse reflection is not hazardous and under certain conditions CW laser beams may safely be viewed via a diffuse reflector. These conditions are:

- a) a minimum viewing distance of 13 cm;
- b) a maximum viewing time of 10 s.

If either one of these conditions is not satisfied, careful evaluation of the potential diffuse reflection hazard is necessary.

Class 4 lasers are high power devices with output powers exceeding the AELs specified in Table IV for Class 3B.

*Note.* — Visible and IR-A Class 4 lasers are capable of producing hazardous diffuse reflections. They may cause skin injuries and could also constitute a fire hazard. Their use requires extreme caution.

### 9.3 Classification procedure

It is the responsibility of the manufacturer or his agent to provide correct classification of a laser product. The product shall be classified on the basis of that combination of output power(s) and wavelength(s) of the accessible laser radiation over the full range of operational capability at any time after manufacture which results in its allocation to the highest appropriate class. The accessible emission limit (AELs) for Class 1, Class 2, Class 3A and Class 3B (listed in order of increasing hazard) are given in Tables I, II, III and IV respectively.

The values of the four correction factors used are given in the notes to the tables (Tables I to IV) as functions of the wavelength and the emission duration.

The rules for the assignment of a laser to a particular class are as follows:

#### a) Radiation of a single wavelength

A single wavelength laser product is assigned to a class when the laser radiation passing through the aperture exceeds the accessible emission limits (AELs) of all lower classes but does not exceed that of the class assigned.

#### b) Radiation of multiple wavelengths

1) A laser product emitting two or more wavelengths in spectral regions, shown as additive in Table V, is assigned to a class when the sum of the ratios of the laser radiation passing through the aperture to the AELs for those wavelengths is greater than unity for all lower classes but does not exceed unity for the class assigned.

2) A laser product emitting two or more wavelengths not shown as additive in Table V is assigned to a class when the laser radiation passing through the aperture exceeds the AELs of all lower classes for any wavelength but does not exceed the AEL for the class assigned for any wavelength.

c) *Considerations sur les possibilités d'accès humain pour la classification: capot de protection*  
Si, à travers une ouverture quelconque du capot de protection, une partie du corps humain peut être exposé au rayonnement laser par suite d'une défaillance, insertion de sondes optiques, ou insertion d'une partie du corps, le laser doit être classé, étiqueté, ou de toute autre manière traité en conformité avec le rayonnement existant à cet endroit et la portion du corps à laquelle ce rayonnement peut être présenté.

d) *Dualité des limites de la classe 1*

Le rayonnement laser dans le domaine de longueurs d'onde supérieur ou égal à 400 nm mais inférieur à 1400 nm ne dépasse pas les limites d'émission accessible pour la classe 1 s'il ne dépasse pas à la fois les limites d'émission accessible pour l'énergie rayonnante et les limites de la classe 1 pour la luminance intégrée dans un domaine quelconque de durée d'émission spécifié dans le tableau I.

Les LEA sont spécifiées dans le tableau approprié pour chaque classe pour les domaines complets de longueur d'onde et de durée d'émission.

Deux bases de temps sont utilisées dans cette norme:

- 1000 s, pour des rayonnements laser dont la longueur d'onde dépasse 400 nm, sauf quand la conception ou la fonction de l'appareil à laser comporte une vision intentionnelle.
- 30 000 s, pour des rayonnements laser dont la longueur d'onde est inférieure ou égale à 400 nm, et pour les rayonnements laser dont la longueur d'onde dépasse 400 nm, lorsque la conception ou la fonction de l'appareil à laser comporte une vision intentionnelle.

Si la durée réduite est utilisée, on doit normalement l'indiquer sur la plaque indicatrice ainsi que l'usage prévu pour le laser.

#### 9.4 *Laser à impulsions répétitives ou modulées*

Puisqu'il n'y a que peu de données sur les critères d'exposition à des impulsions multiples, des précautions doivent être prises dans l'évaluation de l'exposition à un rayonnement à impulsions répétitives. Les méthodes suivantes doivent être utilisées pour déterminer la LEA à appliquer aux expositions répétitives.

9.4.1 La LEA pour les longueurs d'onde allant de 400 nm à 1400 nm est déterminée en utilisant la plus restrictive des spécifications des points a), b) et c) ou a), b) et d) suivant les cas. Pour les autres longueurs d'onde la LEA est déterminée en utilisant la plus restrictive des prescriptions des points a) et b).

- L'exposition à l'une quelconque des impulsions faisant partie du train ne doit pas dépasser la LEA pour une impulsion unique.
- La puissance moyenne pour un train d'impulsions de durée  $T$  ne doit pas dépasser la puissance correspondant à la LEA donnée dans les tableaux I, II, III et IV respectivement pour une impulsion unique de durée  $T$ .
- Si la durée d'une impulsion individuelle est inférieure à  $10^{-5}$  s, pour des trains d'impulsions dont la fréquence de répétition des impulsions (FRI) instantanée est supérieure à 1 Hz, la LEA (dans les tableaux I, II, III et IV) applicable à chaque impulsion doit être prise comme la LEA d'une impulsion unique isolée réduite par le facteur de correction de la FRI  $C_5$  (montré dans la figure 7, page 90) qui varie en fonction de la fréquence de répétition des impulsions  $N$ :

$$\text{Pour } N \text{ compris entre 1 Hz et 278 Hz, } C_5 = 1/\sqrt{N}$$

$$\text{Pour } N \text{ supérieur à 278 Hz, } C_5 = 0,06$$

*Note.* — La FRI instantanée est l'inverse du plus petit intervalle de temps entre impulsions dans un train d'impulsions.

c) *Human accessibility considerations for classification; protective housing*

If through any port in the protective housing a portion of the body can be exposed to laser radiation by failure mode, insertion of optical probes, or insertion of a portion of the body, the laser shall be classified, labelled, and otherwise treated in conformity with the radiation existing at that site and the portion of the body to which that radiation can be presented.

d) *Class 1 dual limits*

Laser radiation in the range of wavelength greater than or equal to 400 nm but less than 1400 nm does not exceed the accessible emission limits for Class 1 if it does not exceed both the Class 1 accessible emission limits for radiant energy and the Class 1 limits for integrated radiance within any range of emission duration specified in Table I.

The AELs are specified in the appropriate table for each class for the complete ranges of wavelength and emission duration.

Two time bases are used in this standard:

- a) 1000 s for laser radiation of wavelengths greater than 400 nm unless intentional viewing was inherent in the design or function of the laser product; and
- b) 30 000 s for laser radiation of wavelengths less than or equal to 400 nm and for laser radiation of wavelengths greater than 400 nm where intentional viewing was inherent in the design or function of the laser product.

If the reduced duration is used, this should be recorded on the label with the intended use of the laser.

#### 9.4 *Repetitively pulsed or modulated lasers*

Since there are only limited data on multiple pulse exposure criteria, caution must be used in the evaluation of exposure to repetitively pulsed radiation. The following methods shall be used to determine the AEL to be applied to repetitive exposures.

9.4.1 The AEL for wavelengths 400 nm to 1400 nm is determined by using the most restrictive of requirements a), b) and c) or a), b) and d) as appropriate. For other wavelengths the AEL is determined by using the most restrictive of requirements a) and b).

- a) The exposure from any single pulse within the train shall not exceed the AEL for a single pulse.
- b) The average power for a pulse train of duration  $T$  shall not exceed the power corresponding to the AEL given in Tables I, II, III, and IV, respectively for a single pulse of duration  $T$ .
- c) If the individual pulse duration is less than  $10^{-5}$  s, for pulse trains where the instantaneous pulse repetition frequency (PRF) is greater than 1 Hz, the AEL (in Tables I, II, III, and IV) applicable to each pulse shall be taken as the AEL of a single isolated pulse reduced by the PRF Correction Factor  $C_5$  (shown in Figure 7, page 90) which varies with the pulse repetition frequency  $N$ :

$$\text{for } N \text{ between 1 Hz and 278 Hz, } C_5 = 1/\sqrt{N}$$

$$\text{for } N \text{ greater than 278 Hz, } C_5 = 0.06$$

*Note.* — The instantaneous PRF is the reciprocal of the shortest pulse interval in a train of pulses.

- d) Si la durée d'une impulsion individuelle est supérieure à  $10^{-5}$  s, et si la fréquence de répétition d'impulsions instantanée est supérieure à 1 Hz, la formule suivante doit être utilisée :

$$LEA_{(\text{unique})} = \frac{LEA_{(nt)}}{n}$$

où :

$n$  = nombre d'impulsions dans le train pendant le temps utilisé pour la classification

$t$  = largeur d'impulsion individuelle

$LEA_{(nt)}$  = LEA applicable à une impulsion de largeur  $nt$  secondes

9.4.2 Pour des trains d'impulsions ayant une FRI non uniforme ou variable (par exemple modulation du taux d'impulsions) la FRI instantanée maximale qui peut être atteinte sera appliquée et la LEA applicable à chaque impulsion calculée comme au paragraphe 9.4.1.

9.4.3 Quand un train d'impulsions comprend un train ou un groupe de 10 impulsions individuelles ou moins, le train étant répété à des intervalles réguliers ou semi-réguliers, l'analyse peut être simplifiée en réduisant chaque groupe individuel d'impulsions à une impulsion équivalente unique et en appliquant les stipulations des paragraphes 9.4.1 et 9.4.2. La méthode pour déterminer l'impulsion équivalente sera la suivante :

- si la durée du groupe ou du train d'impulsions est inférieure à  $10^{-5}$  s, l'impulsion unique équivalente aura une largeur égale à la largeur de l'impulsion la plus étroite dans le groupe, et une exposition énergétique égale à l'exposition énergétique totale du groupe.
- Si la durée du groupe ou du train d'impulsions est plus grande que  $10^{-5}$  s, l'impulsion unique équivalente aura une largeur égale à la somme des largeurs des impulsions individuelles faisant partie du groupe, avec une exposition énergétique égale à l'exposition énergétique totale du groupe.
- Dans certains cas la LEA obtenue par les méthodes développées ci-dessus peut conduire à une situation plus restrictive que celle qui aurait résulté si les stipulations des paragraphes 9.4.1 et 9.4.2 avaient été appliquées au train d'impulsions d'origine ; dans ces circonstances la valeur de la LEA la moins restrictive peut être prise.

Quand un train d'impulsions comprend un ensemble ou un groupe de plus de 10 impulsions répété à intervalles réguliers ou semi-réguliers, les stipulations des paragraphes 9.4.1 et 9.4.2 doivent être appliquées avec une FRI déterminée par la FRI instantanée la plus élevée à l'intérieur du groupe.

- d) If the individual pulse duration is greater than  $10^{-5}$  s, and where the instantaneous pulse repetition frequency is greater than one Hz, the following formula shall be used:

$$AEL_{(single)} = \frac{AEL_{(nt)}}{n}$$

where:

$n$  = number of pulses in the train during the time used for classification

$t$  = individual pulse width

$AEL_{(nt)}$  = AEL applicable to a pulse of width  $nt$  seconds

9.4.2 For pulse trains having a non-uniform or variable PRF (e.g. pulse rate modulation) the maximum instantaneous PRF attainable shall be applied and the AEL applicable to each pulse calculated as in Sub-clause 9.4.1.

9.4.3 When a pulse train consists of a pattern or group of 10 or less individual pulses, the pattern being repeated at regular or semi-regular intervals, the analysis can be simplified by reducing each individual group of pulses to a single equivalent pulse and applying the provisions of Sub-clauses 9.4.1 and 9.4.2. The method of determining the equivalent pulse shall be as follows:

- a) If the group or pattern pulse width is less than  $10^{-5}$  s, the equivalent single pulse shall have a pulse width equal to the narrowest pulse width within the group, and a radiant exposure equal to the total radiant exposure of the group.
- b) If the group or pattern pulse width is greater than  $10^{-5}$  s, the equivalent single pulse shall have a pulse width equal to the sum of the individual pulse widths within the group, with a radiant exposure equal to the total radiant exposure of the group.
- c) In some cases the AEL derived by the methods outlined above may lead to a more restrictive situation than would have resulted if the provisions of Sub-clauses 9.4.1 and 9.4.2 had been applied to the original pulse train, under these circumstances the less restrictive AEL value may be taken.

When a pulse train consists of a pattern or group of more than 10 pulses repeated at regular or semi-regular intervals, the provisions of Sub-clauses 9.4.1 and 9.4.2 shall be applied with a PRF determined by the highest instantaneous PRF within the group.

TABEAU I

Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de la classe I

Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Durée d'émission $t$ (s)	$< 10^{-9}$	$10^{-7}$ à $10^{-7}$	$1,8 \times 10^{-5}$ à $5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$ à 10	10 à $10^3$	$10^3$ à $10^4$	$10^4$ à $3 \times 10^4$	
200 à 302,5		$2,4 \times 10^{-5}$ J							
302,5 à 315		$7,9 \times 10^{-7} C_2 J (t > T_1)$							
315 à 400		$7,9 \times 10^{-7} C_1 J$							
400 à 550	et*	200 W	$2 \times 10^{-7}$ J	$7 \times 10^{-4} t^{0,75}$ J		$3,9 \times 10^{-3}$ J	$3,9 \times 10^{-3} C_2 J$	$3,9 \times 10^{-7}$ W	
		$10^{11}$ W . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$10^5 t^{0,33}$ J . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>			$2,1 \times 10^5$ J . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>		$21$ W . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	
550 à 700	et*	200 W	$2 \times 10^{-7}$ J	$7 \times 10^{-4} t^{0,75}$ J . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>		$3,9 \times 10^{-3} C_3 J (t > T_2)$	$3,9 \times 10^{-7} C_3 W$		
		$10^{11}$ W . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$10^5 t^{0,33}$ J . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>			$2,1 \times 10^5 C_3 J . m^{-2} sr^{-1} (t > T_2)$	$21 C_3 W . m^{-2} sr^{-1}$		
700 à 1050	et*	200 C <sub>4</sub> W	$2 \times 10^{-7} C_4 J$	$7 \times 10^{-4} t^{0,75} J . m^{-2} sr^{-1}$		$1,2 \times 10^{-4} C_4 W$			
		$10^{11} C_4 W . m^{-2} sr^{-1}$	$10^5 t^{0,33} C_4 J . m^{-2} sr^{-1}$			$6,4 \times 10^3 C_4 W . m^{-2} sr^{-1}$			
1050 à 1400	et*	2 × 10 <sup>3</sup> W	$2 \times 10^{-6}$ J	$3,5 \times 10^{-3} \times t^{0,75} J$		$6 \times 10^{-4} W$			
		$5 \times 10^{11}$ W . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$5 \times 10^5 t^{0,33} J . m^{-2} sr^{-1}$			$3,2 \times 10^4 W . m^{-2} sr^{-1}$			
1400 à 10 <sup>5</sup>		8 × 10 <sup>4</sup> W	$8 \times 10^{-5}$ J	$4,4 \times 10^{-3} t^{0,25} J$		$8 \times 10^{-4} W$			
10 <sup>5</sup> à 10 <sup>6</sup>		10 <sup>7</sup> W	$10^{-2}$ J	$0,56 t^{0,25} J$		0,1 W			

\* Voir point d) du paragraphe 9.3 pour les spécifications concernant la dualité des limites de la classe I.

(Voir notes, page 56)

TABLE I  
Accessible emission limits for Class 1 laser products

Wave-length $\lambda$ (nm)	Emission Duration $t$ (s)	$<10^{-9}$	$10^{-9}$ to $10^{-7}$	$10^{-7}$ to $1.8 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-5}$ to $5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$ to 10	10 to $10^3$	$10^3$ to $10^4$	$10^4$ to $3 \times 10^4$	
200 to 302.5		$2.4 \times 10^{-5}$ J								
302.5 to 315		$7.9 \times 10^{-7}$ C <sub>2</sub> J ( $t > T$ )								
315 to 400		$7.9 \times 10^{-7}$ C <sub>1</sub> J ( $t < T$ )								
400 to 550	and *	200 W	$2 \times 10^{-7}$ J	$7 \times 10^{-4} t^{0.75}$ J	$7.9 \times 10^{-7}$ C <sub>1</sub> J	$7.9 \times 10^{-3}$ J	$3.9 \times 10^{-3}$ J	$3.9 \times 10^{-3}$ J	$7.9 \times 10^{-6}$ W	$3.9 \times 10^{-7}$ W
		$10^{11}$ W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$10^5 t^{0.33}$ J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$10^5 t^{0.33}$ J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$2.1 \times 10^5$ J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$21$ W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$21$ W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>			
550 to 700	and *	200 W	$2 \times 10^{-7}$ J	$7 \times 10^{-4} t^{0.75}$ J ( $t < T_2$ )	$7.9 \times 10^{-7}$ C <sub>1</sub> J	$7.9 \times 10^{-3}$ J	$3.9 \times 10^{-3}$ J	$3.9 \times 10^{-3}$ C <sub>3</sub> J ( $t > T_2$ )	$3.9 \times 10^{-7}$ C <sub>3</sub> W	$3.9 \times 10^{-7}$ C <sub>3</sub> W
		$10^{11}$ W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$10^5 t^{0.33}$ J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$10^5 t^{0.33}$ J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$2.1 \times 10^5$ C <sub>3</sub> J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ( $t > T_2$ )	$21$ C <sub>3</sub> W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$21$ C <sub>3</sub> W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>			
700 to 1050	and *	200 C <sub>4</sub> W	$2 \times 10^{-7}$ C <sub>4</sub> J	$7 \times 10^{-4} t^{0.75}$ C <sub>4</sub> J	$7.9 \times 10^{-7}$ C <sub>1</sub> J	$7.9 \times 10^{-3}$ J	$3.9 \times 10^{-3}$ J	$3.9 \times 10^{-3}$ C <sub>4</sub> W	$3.9 \times 10^{-7}$ C <sub>4</sub> W	$3.9 \times 10^{-7}$ C <sub>4</sub> W
		$10^{11}$ C <sub>4</sub> W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$10^5 t^{0.33}$ C <sub>4</sub> J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$10^5 t^{0.33}$ C <sub>4</sub> J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$2.1 \times 10^5$ C <sub>4</sub> J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$2.1 \times 10^5$ C <sub>4</sub> J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$2.1 \times 10^5$ C <sub>4</sub> J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$2.1 \times 10^5$ C <sub>4</sub> J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$21$ C <sub>4</sub> W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$21$ C <sub>4</sub> W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>
1050 to 1400	and *	2 × 10 <sup>3</sup> W	$2 \times 10^{-6}$ J	$3.5 \times 10^{-3} t^{0.75}$ J	$7.9 \times 10^{-7}$ C <sub>1</sub> J	$7.9 \times 10^{-3}$ J	$3.9 \times 10^{-3}$ J	$3.9 \times 10^{-3}$ C <sub>4</sub> W	$3.9 \times 10^{-7}$ C <sub>4</sub> W	$3.9 \times 10^{-7}$ C <sub>4</sub> W
		$5 \times 10^{11}$ W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$5 \times 10^5 t^{0.33}$ J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$5 \times 10^5 t^{0.33}$ J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$2.1 \times 10^5$ J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$2.1 \times 10^5$ J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$2.1 \times 10^5$ J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$2.1 \times 10^5$ J.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$21$ W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$21$ W.m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>
1400 to 10 <sup>5</sup>		8 × 10 <sup>4</sup> W	$8 \times 10^{-5}$ J	$4.4 \times 10^{-3} t^{0.25}$ J	$7.9 \times 10^{-7}$ C <sub>1</sub> J	$7.9 \times 10^{-3}$ J	$3.9 \times 10^{-3}$ J	$3.9 \times 10^{-3}$ C <sub>4</sub> W	$3.9 \times 10^{-7}$ C <sub>4</sub> W	$3.9 \times 10^{-7}$ C <sub>4</sub> W
10 <sup>5</sup> to 10 <sup>6</sup>		10 <sup>7</sup> W	$10^{-2}$ J	$0.56 t^{0.25}$ J	$7.9 \times 10^{-7}$ C <sub>1</sub> J	$7.9 \times 10^{-3}$ J	$3.9 \times 10^{-3}$ J	$3.9 \times 10^{-3}$ C <sub>4</sub> W	$3.9 \times 10^{-7}$ C <sub>4</sub> W	$3.9 \times 10^{-7}$ C <sub>4</sub> W

\* See Item d) of Sub-clause 9.3 for Class 1 dual limits requirements.

(See notes page 57)

TABLEAU II

*Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de la classe 2*

Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Durée d'émission $t$ (s)	LEA pour la classe 2
400 à 700	$t < 0,25$	Même LEA que pour la classe 1
	$t > 0,25$	$10^{-3}$ W

(Voir notes page 56)

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60825-1:1984  
Withdrawn

TABLE II  
*Accessible emission limits for Class 2 laser products*

Wavelength $\lambda$ (nm)	Emission duration $t$ (s)	Class 2 AEL
400 to 700	$t < 0.25$	Same as Class 1 AEL
	$t > 0.25$	$10^{-3}$ W

(See notes page 57)

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60825-1:1984  
WithDRAWN

TABLEAU III

Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de la classe 3A

Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Durée d'émission $t$ (s)	$< 10^{-9}$	$10^{-9}$ à $10^{-7}$	$10^{-7}$ à $1,8 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$ à $5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$ à 0,25	0,25 à 10	$10^1$ à $10^3$	$10^3$ à $3 \times 10^4$	
200 à 302,5		$1,2 \times 10^{-4}$ J et $30$ J . m <sup>-2</sup>								
302,5 à 315		$1,2 \times 10^5$ W et $3 \times 10^{10}$ W . m <sup>-2</sup>	$4 \times C_1 \times 10^{-6}$ J et $C_1$ J . m <sup>-2</sup>	$(t > T_1)$	$4 \times C_2 \times 10^{-6}$ J et $C_2$ J . m <sup>-2</sup>	$4 \times 10^{-2}$ J et $10^4$ J . m <sup>-2</sup>	$4 \times C_2 \times 10^{-6}$ J et $C_2$ J . m <sup>-2</sup>	$4 \times 10^{-5}$ W et $10$ W . m <sup>-2</sup>		
315 à 400			$4 \times C_1 \times 10^{-6}$ J et $C_1$ J . m <sup>-2</sup>	$(t < T_1)$						
400 à 700		$1000$ W et $5 \times 10^6$ W . m <sup>-2</sup>	$10^{-6}$ J et $5 \times 10^{-3}$ J . m <sup>-2</sup>	$3,5 \times 10^{-3} \times t^{0,75}$ J et $18 \times t^{0,75}$ J . m <sup>-2</sup>	$5 \times 10^{-3}$ W et $25$ W . m <sup>-2</sup>	(Les réflexes de défense protègent pour l'émission > 0,25 s)				
700 à 1050		$1000$ W $\times C_4$ W et $5 \times C_4 \times 10^6$ W . m <sup>-2</sup>	$10^{-6} \times C_4$ J et $5 \times C_4 \times 10^{-3}$ J . m <sup>-2</sup>	$3,5 \times 10^{-3} \times C_4 \times t^{0,75}$ J et $18 \times C_4 \times t^{0,75}$ J . m <sup>-2</sup>	$6 \times 10^{-4} \times C_4$ W et $3,2 \times C_4$ W . m <sup>-2</sup>					
1050 à 1400		$10^4$ W et $5 \times 10^7$ W . m <sup>-2</sup>	$10^{-5}$ J et $5 \times 10^{-2}$ J . m <sup>-2</sup>	$1,8 \times 10^{-2} \times t^{0,75}$ J et $90 \times t^{0,75}$ J . m <sup>-2</sup>	$3 \times 10^{-3}$ W et $16$ W . m <sup>-2</sup>					
1400 à $10^5$		$4 \times 10^5$ W et $10^{11}$ W . m <sup>-2</sup>	$4 \times 10^{-4}$ J et $100$ J . m <sup>-2</sup>	$2,2 \times 10^{-2} \times t^{0,25}$ J et $5600 \times t^{0,25}$ J . m <sup>-2</sup>	$4 \times 10^{-3}$ W et $1000$ W . m <sup>-2</sup>					
$10^5$ à $10^6$		$5 \times 10^7$ W et $10^{11}$ W . m <sup>-2</sup>	$5 \times 10^{-2}$ J et $100$ J . m <sup>-2</sup>	$2,8 \times t^{0,25}$ J et $5600 \times t^{0,25}$ J . m <sup>-2</sup>	$0,5$ W et $1000$ W . m <sup>-2</sup>					

(Voir notes page 56)

TABLE III  
 Accessible emission limits for Class 3A laser products

Wave-length $\lambda$ (nm)	Emission Duration $t$ (s)	$<10^{-9}$	$10^{-9}$ to $10^{-7}$	$1.8 \times 10^{-5}$ to $5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$ to 0.25	0.25 to 10	10 to $10^3$	$10^3$ to $3 \times 10^4$	
200 to 302.5		$1.2 \times 10^{-4}$ J and $30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$							
302.5 to 315		$4 \times C_1 \times 10^{-6} \text{ J}$ and $C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ( $t > T_1$ ) $4 \times C_2 \times 10^{-6} \text{ J}$ and $C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ( $t < T_1$ )							
315 to 400		$4 \times C_1 \times 10^{-4} \text{ J}$ and $C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$							
400 to 700		$1000 \text{ W}$ and $5 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$3.5 \times 10^{-3} \times t^{0.75} \text{ J}$ and $18 \times t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5 \times 10^{-3} \text{ W}$ and $25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (Aversion responses protect for emission $> 0.25 \text{ s}$ )		$4 \times 10^{-5} \text{ W}$ and $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
700 to 1050		$1000 \text{ W} \times C_4 \text{ W}$ and $5 \times C_4 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$3.5 \times 10^{-3} \times C_4 \times t^{0.75} \text{ J}$ and $18 \times C_4 \times t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$6 \times 10^{-4} \times C_4 \text{ W}$ and $3.2 \times C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
1050 to 1400		$10^4 \text{ W}$ and $5 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$10^{-5} \text{ J}$ and $5 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$1.8 \times 10^{-2} \times t^{0.75} \text{ J}$ and $90 \times t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$3 \times 10^{-3} \text{ W}$ and $16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
1400 to $10^5$		$4 \times 10^5 \text{ W}$ and $10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$4 \times 10^{-4} \text{ J}$ and $100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2.2 \times 10^{-2} \times t^{0.25} \text{ J}$ and $5600 \times t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$4 \times 10^{-3} \text{ W}$ and $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
$10^5$ to $10^6$		$5 \times 10^7 \text{ W}$ and $10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$5 \times 10^{-2} \text{ J}$ and $100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2.8 \times t^{0.25} \text{ J}$ and $5600 \times t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$0.5 \text{ W}$ and $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	

(See notes page 57)

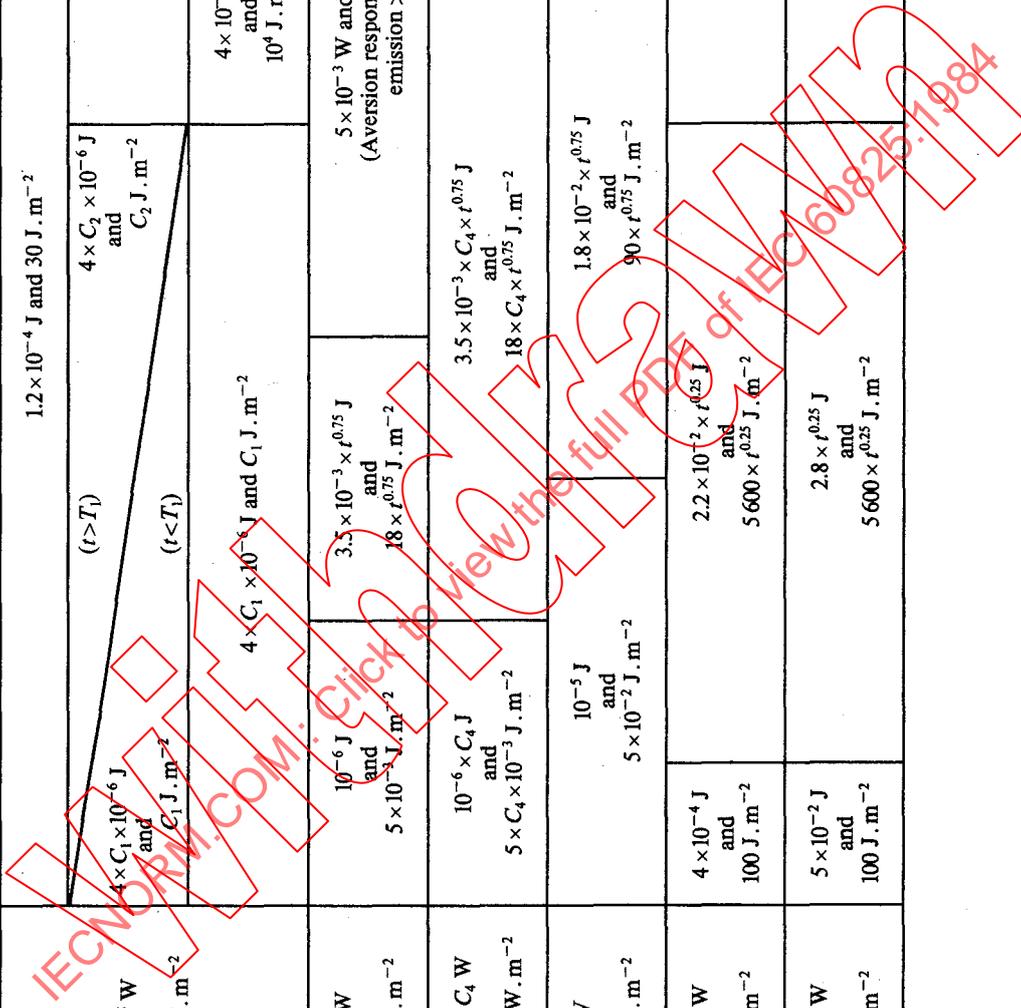


TABLEAU IV

Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de la classe 3B

Longueur d'onde $\lambda$ (nm) \ / \ Durée d'émission $t$ (s)	$<10^{-9}$	$10^{-9}$ à 0,25	$0,25$ à $3 \times 10^4$
200 à 302,5	$3,8 \times 10^5$ W	$3,8 \times 10^{-4}$ J	$1,5 \times 10^{-3}$ W
302,5 à 315	$1,25 \times 10^4$ C <sub>2</sub> W	$1,25 \times 10^{-5}$ C <sub>2</sub> J	$5 \times 10^{-5}$ C <sub>2</sub> W
315 à 400	$1,25 \times 10^8$ W	0,125 J	0,5 W
400 à 700	$3,14 \times 10^{11}$ W.m <sup>-2</sup>	$3,14 \times 10^5$ t <sup>0,33</sup> J.m <sup>-2</sup> et $<10^5$ J.m <sup>-2</sup>	0,5 W
700 à 1050	$3,14 \times 10^{11}$ C <sub>4</sub> W.m <sup>-2</sup>	$3,14 \times 10^5$ C <sub>4</sub> t <sup>0,33</sup> J.m <sup>-2</sup> et $<10^5$ J.m <sup>-2</sup>	0,5 W
1050 à 1400	$1,57 \times 10^{12}$ W.m <sup>-2</sup>	$1,57 \times 10^6$ t <sup>0,33</sup> J.m <sup>-2</sup> et $<10^5$ J.m <sup>-2</sup>	0,5 W
1400 à 10 <sup>6</sup>	$10^{14}$ W.m <sup>-2</sup>	$10^5$ J.m <sup>-2</sup>	0,5 W

(Voir notes page 56)

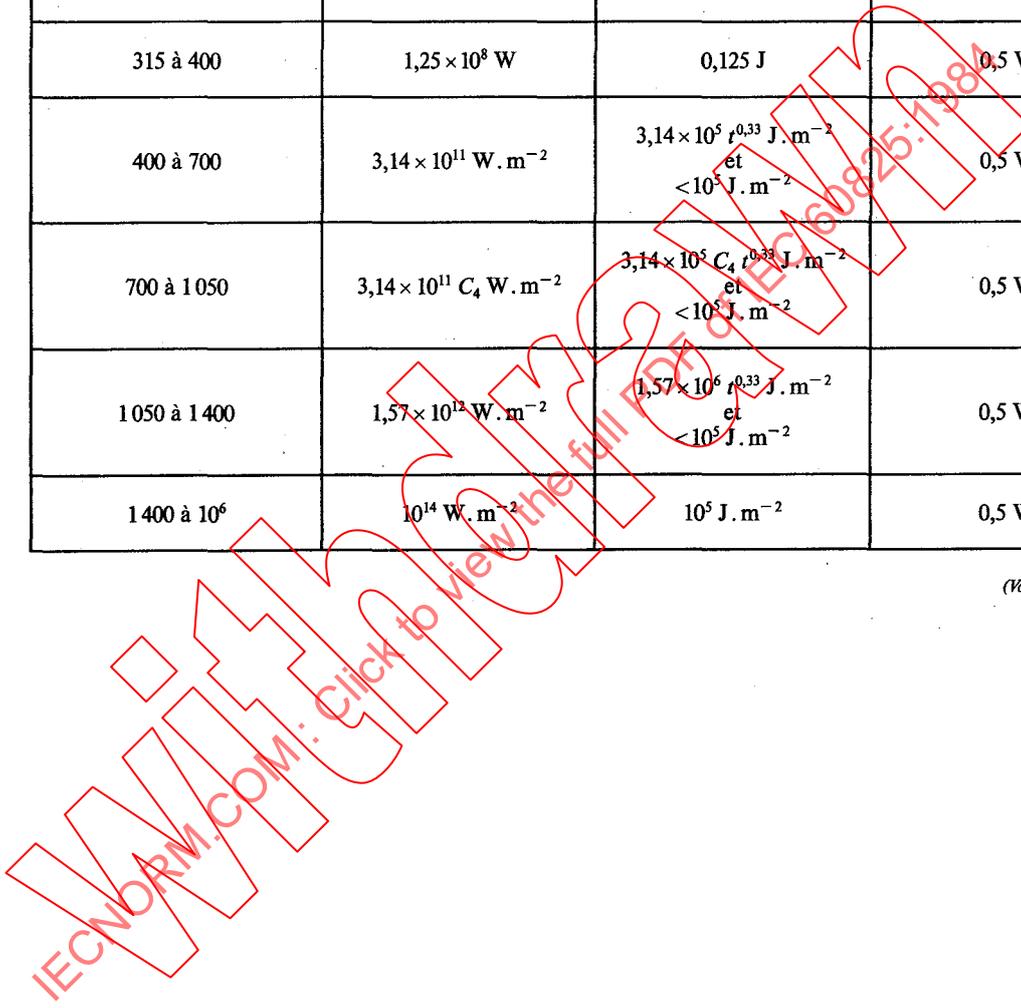


TABLE IV  
*Accessible emission limits for Class 3B laser products*

Wave-length $\lambda$ (nm)	Emission duration $t$ (s)	$<10^{-9}$	$10^{-9}$ to 0.25	$0.25$ to $3 \times 10^4$
200 to 302.5		$3.8 \times 10^5 \text{ W}$	$3.8 \times 10^{-4} \text{ J}$	$1.5 \times 10^{-3} \text{ W}$
302.5 to 315		$1.25 \times 10^4 \text{ C}_2 \text{ W}$	$1.25 \times 10^{-5} \text{ C}_2 \text{ J}$	$5 \times 10^{-5} \text{ C}_2 \text{ W}$
315 to 400		$1.25 \times 10^8 \text{ W}$	0.125 J	0.5 W
400 to 700		$3.14 \times 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$3.14 \times 10^5 t^{0.33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ and $<10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	0.5 W
700 to 1050		$3.14 \times 10^{11} \text{ C}_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$3.14 \times 10^5 \text{ C}_4 t^{0.33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ and $<10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	0.5 W
1050 to 1400		$1.57 \times 10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$1.57 \times 10^6 t^{0.33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ and $<10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	0.5 W
1400 to $10^6$		$10^{14} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	0.5 W

(See notes page 57)

Notes sur les tableaux I à IV

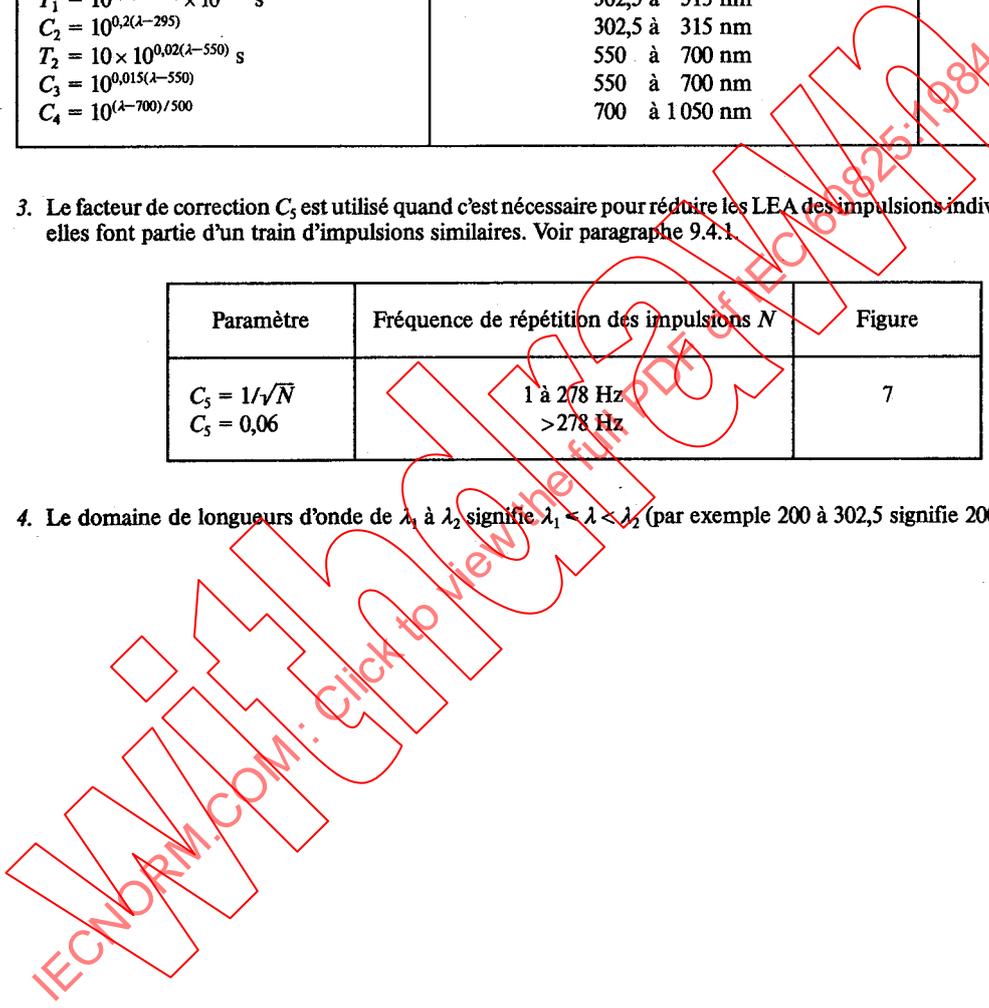
1. Il n'y a qu'un nombre restreint de témoignages concernant les effets des expositions d'une durée inférieure à  $10^{-9}$  s. Les LEA pour ces durées d'exposition ont été extrapolées en maintenant l'éclairement énergétique, la luminance énergétique ou l'exposition énergétique applicable à  $10^{-9}$  s.
2. Les facteurs de correction  $C_1$  à  $C_4$  et les valeurs de transition  $T_1$  et  $T_2$  utilisés dans les tableaux I à IV sont définis par les expressions suivantes et représentés par les figures 1 à 6.

Paramètre	Domaine spectral	Figure
$C_1 = 5,6 \times 10^3 t^{0,25}$	302,5 à 400 nm	1
$T_1 = 10^{0,8(\lambda-295)} \times 10^{-15}$ s	302,5 à 315 nm	2
$C_2 = 10^{0,2(\lambda-295)}$	302,5 à 315 nm	3
$T_2 = 10 \times 10^{0,02(\lambda-550)}$ s	550 à 700 nm	4
$C_3 = 10^{0,015(\lambda-550)}$	550 à 700 nm	5
$C_4 = 10^{(\lambda-700)/500}$	700 à 1 050 nm	6

3. Le facteur de correction  $C_5$  est utilisé quand c'est nécessaire pour réduire les LEA des impulsions individuelles quand elles font partie d'un train d'impulsions similaires. Voir paragraphe 9.4.1.

Paramètre	Fréquence de répétition des impulsions $N$	Figure
$C_5 = 1/\sqrt{N}$ $C_5 = 0,06$	1 à 278 Hz >278 Hz	7

4. Le domaine de longueurs d'onde de  $\lambda_1$  à  $\lambda_2$  signifie  $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$  (par exemple 200 à 302,5 signifie  $200 < \lambda < 302,5$ ).



## Notes to Tables I to IV

1. There is only limited evidence about effects for exposures of less than  $10^{-9}$  s. The AELs for these exposure times have been derived by maintaining the irradiance, radiance, or radiant exposure applying at  $10^{-9}$  s.
2. Correction factors  $C_1$  to  $C_4$  and breakpoints  $T_1$  and  $T_2$  used in Tables I to IV are defined in the following expressions and illustrated in Figures 1 to 6.

Parameter	Spectral region	Figure
$C_1 = 5.6 \times 10^3 t^{0.25}$	302.5 to 400 nm	1
$T_1 = 10^{0.8(\lambda-295)} \times 10^{-15}$ s	302.5 to 315 nm	2
$C_2 = 10^{0.2(\lambda-295)}$	302.5 to 315 nm	3
$T_2 = 10 \times 10^{0.02(\lambda-550)}$ s	550 to 700 nm	4
$C_3 = 10^{0.015(\lambda-550)}$	550 to 700 nm	5
$C_4 = 10^{(\lambda-700)/500}$	700 to 1050 nm	6

3. The correction factor  $C_5$  is used when appropriate to reduce the AEL of individual pulses where these are contained in a train of similar pulses. See Sub-clause 9.4.1.

Parameter	Pulse repetition frequency $N$	Figure
$C_5 = 1/\sqrt{N}$ $C_5 = 0.06$	1 to 278 Hz >278 Hz	7

4. The wavelength range  $\lambda_1$  to  $\lambda_2$  means  $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$  (e.g. 200 to 302.5 means  $200 < \lambda < 302.5$ ).

## SECTION TROIS — GUIDE DE L'UTILISATEUR

## 10. Mesures de sécurité

## 10.1 Généralités

Cette section précise les mesures de sécurité et les moyens de contrôle qui doivent être pris par l'utilisateur d'un appareil à laser, en accord avec sa classification. Les utilisateurs peuvent souvent se servir de la classification donnée à l'appareil par le fabricant pour déterminer la classe de l'installation laser, évitant ainsi toute opération de mesure. Cette section est fournie pour l'information de l'utilisateur. Rien dans cette section ne doit être considéré comme une contrainte ou une exigence imposées au fabricant. Pour des installations où des lasers de classe supérieure à la classe 2 sont mis en œuvre, un responsable de sécurité laser doit être désigné. L'examen des mesures de sécurité suivantes et l'établissement de la liste des contrôles appropriés à exécuter incombent au responsable de sécurité laser. Partout où c'est faisable, des enceintes de protection doivent être utilisées pour les lasers de classe 3B ou 4. Des étiquettes d'avertissement doivent être placées sur les parties amovibles des enceintes de protection, ou aux connexions de service quand un danger peut être créé par leur déplacement ou leur déconnexion.

Le but des mesures de sécurité et des moyens de contrôle est de réduire la possibilité d'exposition à un rayonnement laser de niveau dangereux et à d'autres risques associés. Toutefois, il peut ne pas être nécessaire d'exécuter toutes les mesures de contrôle données. Chaque fois que l'application d'une ou plusieurs mesures de contrôle réduit l'exposition possible à un niveau égal ou inférieur aux EMP applicables, l'application de mesures de contrôle additionnelles ne sera pas nécessaire.

Si la modification par l'utilisateur d'un appareil à laser initialement classifié affecte un aspect quelconque des performances de l'appareil ou de ses fonctions prévues dans le domaine de cette norme, la personne ou l'organisation effectuant une telle modification a la responsabilité d'assurer la reclassification et le nouvel étiquetage de l'appareil à laser.

10.2 *Emploi du connecteur de verrouillage à distance*

Le connecteur de verrouillage à distance d'un laser de classe 3B ou de classe 4 doit être connecté à un sectionneur de verrouillage d'urgence central, ou aux systèmes de verrouillage de sécurité de la salle, de la porte ou du meuble (voir paragraphe 4.4).

La personne responsable peut être autorisée à annuler momentanément la commande à distance pour permettre l'accès à d'autres personnes autorisées, s'il est clairement évident qu'il n'y a pas de danger par rayonnement optique à l'instant et à l'endroit de l'entrée.

10.3 *Commande à clé*

Quand il n'est pas en service, tout appareil à laser des classes 3A, 3B, ou 4 devrait être protégé contre tout emploi non autorisé par l'enlèvement de la clé de commande (voir paragraphe 4.5).

10.4 *Arrêt de faisceau ou atténuateur*

L'exposition involontaire des personnes présentes par des appareils à laser des classes 3A, 3B ou 4 pourrait être évitée par l'emploi de l'atténuateur de faisceau ou de l'arrêt de faisceau (voir paragraphe 4.7).

Les appareils à laser des classes 3A, 3B ou 4 devraient être munis d'un atténuateur ou d'un arrêt de faisceau, lié à l'appareil de façon permanente, et capable d'éviter la sortie d'un rayonnement excédant les niveaux EMP appropriés quand l'appareil à laser est en attente de fonctionnement.

## SECTION THREE — USER'S GUIDE

## 10. Safety precautions

10.1 *General*

This section specifies safety precautions and control measures to be taken by the user of a laser product, in accordance with its hazard classification. Often users can use the manufacturer's classification of the product for classification of the laser installation, thus avoiding all measurements. This section is supplied for the user's information. Nothing in this section shall be considered to be constraints or requirements imposed upon the manufacturer. For installations where lasers of class greater than Class 2 are operated, a laser safety officer should be appointed. It should be the laser safety officer's responsibility to review the following precautions and designate the appropriate controls to be implemented. Wherever practicable, laser protective enclosures should be used for lasers of Class 3B or Class 4. Warning labels should be placed upon removable parts of protective enclosures or at service connections where a hazard is introduced by their removal or by disconnection.

The purpose of safety precautions and control measures is to reduce the possibility of exposure to hazardous levels of laser radiation, and to other associated hazards. Therefore, it may not be necessary to implement all of the control measures given. Whenever the application of any one or more control measures reduces the possible exposure to a level at or below the applicable MPE, then the application of additional control measures should not be necessary.

If the user modification of a previously classified laser product affects any aspect of the product's performance or intended functions within the scope of this standard, the person or organization performing any such modification is responsible for ensuring the reclassification and relabelling of the laser product.

10.2 *Use of remote interlock connector*

The remote interlock connector of a Class 3B or Class 4 laser should be connected to an emergency master disconnect interlock or to room, door or fixture interlocks (see Sub-clause 4.4).

The person in charge may be permitted momentary override of the remote interlock connector to allow access to other authorized persons if it is clearly evident that there is no optical radiation hazard at the time and point of entry.

10.3 *Key control*

When it is not in use each Class 3A, Class 3B or Class 4 laser product should be protected against unauthorized use, by removal of the key of the key control (see Sub-clause 4.5).

10.4 *Beam stop or attenuator*

The inadvertent exposure of bystanders by Class 3A, Class 3B or Class 4 laser products should be prevented by the use of the beam attenuator or beam stop (see Sub-clause 4.7).

Class 3A, Class 3B, or Class 4 laser products should be provided with a permanently attached beam stop or attenuator capable of preventing output emission in excess of the appropriate MPE level when the laser product is on stand-by.

### 10.5 *Panneaux avertisseurs*

Des panneaux avertisseurs appropriés doivent être apposés sur les entrées des zones ou les enceintes de protection contenant des appareils à laser des classes 3A, 3B et 4.

### 10.6 *Trajets des faisceaux*

Le faisceau émis par tout appareil à laser des classes 2, 3A, 3B ou 4 devrait être terminé à la fin de son trajet utile par une matière à réflexion diffuse ayant une réflectivité et des propriétés thermiques adéquates, ou par des absorbeurs.

Les trajets des faisceaux laser en propagation libre devraient être situés, lorsque cela est possible, au-dessus ou au-dessous du niveau normal des yeux.

Les faisceaux laser devraient être enfermés (par exemple dans un tube) quand c'est faisable. C'est un type d'enceinte de protection.

### 10.7 *Réflexions spéculaires*

Des précautions devraient être prises pour empêcher la réflexion spéculaire involontaire du rayonnement des appareils à laser des classes 3B ou 4. Les miroirs, les lentilles et les diviseurs de faisceau devraient avoir une monture rigide et ne devraient être soumis à des mouvements commandés que pendant le temps d'émission du laser.

### 10.8 *Protection des yeux*

Dans la spécification du protecteur oculaire approprié, il conviendrait de prendre en considération les facteurs suivants :

- a) longueur(s) d'onde de travail
- b) exposition ou éclairement énergétique
- c) exposition maximale permise (EMP)
- d) densité optique du protecteur oculaire à la longueur d'onde d'émission du laser
- e) exigences sur la transmission du rayonnement visible
- f) valeurs de l'exposition ou de l'éclairement énergétique pour lesquelles le protecteur oculaire est endommagé
- g) nécessité d'utiliser des lunettes correctrices
- h) confort et ventilation
- i) dégradation ou modification des milieux absorbants, même si elles sont temporaires ou transitoires
- j) solidité des matières (résistance aux chocs)
- k) exigences sur la vision périphérique
- l) tous règlements nationaux applicables

Un protecteur oculaire conçu pour assurer une protection adéquate contre les rayonnements laser spécifiques devrait être employé dans toutes les zones dangereuses où des lasers de la classe 3 ou 4 sont en service (voir article 12). Il y a des exceptions :

- a) lorsque des mesures techniques et administratives sont prises de façon à éliminer toute exposition potentielle dépassant les EMP applicables ;
- b) lorsque, par suite des nécessités de fonctionnement exceptionnelles, l'utilisation du protecteur oculaire n'est pas praticable. De telles procédures opératoires ne devraient être entreprises qu'avec l'approbation du responsable de sécurité laser.

### 10.5 *Warning signs*

The entrances to areas or protective enclosures containing Class 3A, Class 3B and Class 4 laser products should be posted with appropriate warning signs.

### 10.6 *Beam paths*

The beam emitted by each Class 2, Class 3A, Class 3B or Class 4 laser product should be terminated at the end of its useful path by a diffusely-reflecting material of appropriate reflectivity and thermal properties or by absorbers.

Open laser beam paths should be located above or below eye level where practicable.

Laser beams should be enclosed (e.g., within a tube) where practicable. This is one type of protective enclosure.

### 10.7 *Specular reflections*

Care should be exercised to prevent the unintentional specular reflection of radiation from Class 3B or Class 4 laser products. Mirrors, lenses and beam splitters should be rigidly mounted and should be subject to controlled movements only while the laser is emitting.

### 10.8 *Eye protection*

The following should be considered when specifying suitable protective eyewear:

- a) wavelength(s) of operation
- b) radiant exposure or irradiance
- c) maximum permissible exposure (MPE)
- d) optical density of eyewear at laser output wavelength
- e) visible light transmission requirements
- f) radiant exposure or irradiance at which damage to eyewear occurs
- g) need for prescription glasses
- h) comfort and ventilation
- i) degradation or modification of absorbing media, even if temporary or transient
- j) strength of materials (resistance to shock)
- k) peripheral vision requirements
- l) any relevant national regulations

Eye protection which is designed to provide adequate protection against specific laser radiations should be used in all hazard areas where Class 3 or Class 4 lasers are in use (see Clause 12). Exceptions to this are:

- a) when engineering and administrative controls are such as to eliminate potential exposure in excess of the applicable MPE;
- b) when, due to the unusual operating requirements, the use of eye protection is not practicable. Such operating procedures should only be undertaken with the approval of the laser safety officer.

### 10.8.1 *Identification du protecteur oculaire*

Sur tout protecteur oculaire, doivent être mentionnées clairement les informations adéquates pour assurer le choix correct du protecteur en rapport avec des lasers particuliers.

### 10.8.2 *Densité optique requise*

Dans les conditions normales, la densité optique  $D_\lambda$  du protecteur oculaire contre le laser dépend beaucoup de la longueur d'onde. Dans le cas où le protecteur est appelé à couvrir une bande de rayonnement, la valeur minimale de  $D_\lambda$  mesurée à l'intérieur de la bande doit être mentionnée. La valeur de  $D_\lambda$  nécessaire pour assurer la protection de l'œil peut être calculée à partir de la formule :

$$D_\lambda = \log_{10} \frac{H_0}{\text{EMP}}$$

où  $H_0$  représente le niveau d'exposition prévu pour l'œil non protégé.

### 10.8.3 *Choix du protecteur oculaire*

Le protecteur oculaire devrait être agréable à porter, assurer un champ visuel aussi vaste que possible, rester étroitement ajusté tout en procurant une ventilation suffisante pour éviter les difficultés causées par la buée et fournir une transmission visuelle convenable. Des précautions devraient être prises pour éviter, autant que possible, l'utilisation de surfaces réfléchissantes planes, qui pourraient causer des réflexions spéculaires dangereuses. Il est important que la monture et toute pièce latérale puissent donner une protection équivalente à celle assurée par les verres.

### 10.9 *Vêtements de protection*

Dans le cas où le personnel peut être exposé à des niveaux de rayonnements dépassant les EMP pour la peau, il doit être protégé par des vêtements appropriés. En particulier les lasers de la classe 4 représentent un danger potentiel d'incendie et les vêtements de protection devraient être fabriqués avec une matière appropriée, ininflammable et résistante à la chaleur.

### 10.10 *Formation*

Le fonctionnement des systèmes laser des classes 3A, 3B et 4 peut représenter un danger non seulement pour l'utilisateur mais aussi pour d'autres personnes, sur une distance considérable.

Etant donné ce danger potentiel, seules les personnes qui ont reçu une formation à un niveau approprié peuvent être chargées de la surveillance de tels systèmes. La formation qui peut être donnée par le fabricant ou le fournisseur du système, par le responsable de sécurité laser, ou par une organisation extérieure agréée, doit comporter, sans toutefois y être limitée :

- a) la familiarisation avec les procédures de fonctionnement du système;
- b) l'utilisation appropriée des procédures de contrôle du danger, des signaux avertisseurs, etc.;
- c) la nécessité d'une protection individuelle;
- d) les procédures de rapport d'accident;
- e) les effets biologiques du laser sur l'œil et sur la peau.

Voir aussi l'article 12.

### 10.8.1 Identification of eyewear

All laser protective eyewear shall be clearly labelled with information adequate to ensure the proper choice of eyewear with particular lasers.

### 10.8.2 Required optical density

The optical density  $D_\lambda$  of laser protective eyewear is normally highly wavelength dependent. Where protective eyewear is required to cover a band of radiation, the minimum value of  $D_\lambda$  measured within the band shall be quoted. The value of  $D_\lambda$  required to give eye protection can be calculated from the formula:

$$D_\lambda = \log_{10} \frac{H_0}{\text{MPE}}$$

where  $H_0$  is the expected unprotected eye exposure level.

### 10.8.3 Eyewear selection

Protective eyewear should be comfortable to wear, provide as wide a field of view as possible, maintain a close fit while still providing adequate ventilation to avoid problems in misting up and provide adequate visual transmittance. Care should be taken to avoid, as far as is possible, the use of flat reflecting surfaces which might cause hazardous specular reflections. It is important that the frame and any side-pieces should give equivalent protection to that afforded by the lens(es).

### 10.9 Protective clothing

Where personnel may be exposed to levels of radiation that exceed the MPE for the skin, suitable protective clothing should be provided. Class 4 lasers especially are a potential fire hazard and protective clothing worn should be made from a suitable flame and heat resisting material.

### 10.10 Training

Operation of Class 3A, 3B and Class 4 laser systems can represent a hazard not only to the user but also to other people over a considerable distance.

Because of this hazard potential, only persons who have received training to an appropriate level should be placed in control of such systems. The training which may be given by the manufacturer or supplier of the system, the laser safety officer, or by an approved external organization, should include, but is not limited to:

- a) familiarization with system operating procedures;
- b) the proper use of hazard control procedures, warning signs, etc.;
- c) the need for personal protection;
- d) accident reporting procedures;
- e) bioeffects of the laser upon the eye and the skin.

See also Clause 12.

### 10.11 *Surveillance médicale*

En l'absence de réglementation nationale, on prendra en considération les recommandations suivantes:

- a) la qualité de la surveillance médicale des personnels travaillant sur le laser est un problème fondamental non résolu à ce jour par la profession médicale. Si des examens ophtalmiques sont entrepris, ils devraient être exécutés par un spécialiste qualifié et limités aux travailleurs utilisant des lasers des classes 3B et 4.
- b) Un examen médical devrait être exécuté par un spécialiste qualifié immédiatement après une exposition oculaire apparemment nocive ou présumée nocive. Un tel examen devrait être complété par une recherche biophysique des circonstances dans lesquelles l'accident s'est produit.
- c) Les examens ophtalmiques de préemploi, d'emploi intérimaire ou de postemploi sur des travailleurs utilisant des lasers des classes 3B et 4 n'ont de valeur que pour des considérations médico-légales et ne constituent pas une partie nécessaire d'un programme de sécurité.

## 11. **Risques pouvant résulter du fonctionnement des lasers**

En fonction du type de laser utilisé, les risques accessoires suivants peuvent être provoqués par le fonctionnement laser.

### 11.1 *Contamination de l'atmosphère*

- a) La vaporisation du matériau constituant la cible et les produits de réaction provoqués par les opérations de coupe, de perçage et de soudage par laser. Ces matières peuvent aussi bien comporter de l'amiante, de l'oxyde de carbone, du gaz carbonique, de l'ozone, du plomb, du mercure, d'autres métaux, ainsi que des matières biologiques.
- b) Des gaz provenant des systèmes laser à circulation de gaz ou des sous-produits des réactions laser, tels que le brome, le chlore et l'acide cyanhydrique.
- c) Des gaz ou vapeurs provenant des agents cryogènes.

### 11.2 *Dangers du rayonnement connexe*

#### 11.2.1 *Rayonnement ultraviolet connexe*

Des risques considérables peuvent être provoqués par le rayonnement ultraviolet dû aux lampes à éclair ou aux tubes à décharge de lasers continus, particulièrement lorsque sont utilisés des tubes ou des miroirs transmettant l'ultraviolet (par exemple en quartz).

#### 11.2.2 *Rayonnement connexe visible et infrarouge*

Le rayonnement visible et proche infrarouge émis par les lampes à éclair, les sources de pompage et le rayonnement en retour de cible peuvent être d'une luminance suffisante pour créer un danger potentiel.

### 11.3 *Risques électriques*

La plupart des lasers utilisent de hautes tensions (> 1 kV) et les lasers à impulsions sont particulièrement dangereux en raison de l'énergie accumulée dans les batteries de condensateurs.

A moins qu'ils ne soient convenablement protégés, certains composants tels que les tubes électroniques travaillant avec des tensions anodiques supérieures à 5 kV peuvent émettre des rayons X.

*Note.* — Les exigences concernant la sécurité électrique sont détaillées dans une autre norme de la CEI (en préparation).

### 10.11 *Medical supervision*

In the absence of national regulations, the following recommendations should be taken into consideration.

- a) The value of medical surveillance of laser workers is a fundamental problem as yet unresolved by the medical profession. If ophthalmic examinations are undertaken, they should be carried out by a qualified specialist and should be confined to workers using Class 3B and Class 4 lasers.
- b) A medical examination by a qualified specialist should be carried out immediately after an apparent or suspected injurious ocular exposure. Such an examination should be supplemented with a full biophysical investigation of the circumstances under which the accident occurred.
- c) Pre-, interim, and post-employment ophthalmic examinations of workers using Class 3B and Class 4 lasers have value for medical-legal reasons only and are not a necessary part of a safety programme.

## 11. **Hazards incidental to laser operation**

Depending on the type of laser used, associated hazards involved in laser operations may include the following:

### 11.1 *Atmospheric contamination*

- a) Vapourized target material and reaction products from laser cutting, drilling, and welding operations. These materials may well include asbestos, carbon monoxide, carbon dioxide, ozone, lead, mercury, other metals, and biological material.
- b) Gases from the flowing gas laser systems or from the by-products of laser reactions, such as bromine, chlorine, and hydrogen cyanide.
- c) Gases or vapours from cryogenic coolants.

### 11.2 *Collateral radiation hazards*

#### 11.2.1 *Ultra-violet collateral radiation*

There may be a considerable hazard from the ultra-violet radiation associated with flashlamps and CW laser discharge tubes, especially when ultra-violet transmitting tubing or mirrors (such as quartz) are used.

#### 11.2.2 *Visible and infra-red collateral radiation*

The visible and near-infra-red radiation emitted from flashtubes and pump sources and target re-radiation may be of sufficient radiance to produce potential hazard.

### 11.3 *Electrical hazards*

Most lasers make use of high voltages ( $>1$  kV) and pulsed lasers are especially dangerous because of the stored energy in the capacitor banks.

Unless properly shielded, circuit components such as electronic tubes working at anode voltages greater than 5kV may emit X rays.

*Note.* — The requirements for electrical safety are detailed in another IEC standard (under consideration).

#### 11.4 *Agents cryogènes*

Des liquides cryogènes peuvent provoquer des brûlures et leur manipulation exige des précautions particulières.

#### 11.5 *Autres risques*

La possibilité d'explosion d'une batterie de condensateurs ou d'un système de pompage optique existe au cours du fonctionnement de certains systèmes laser à grande puissance. Il peut y avoir des particules volantes à partir de la zone de la cible au cours des opérations de coupe, de perçage et de soudage par laser. Des réactions explosives d'agents chimiques employés dans le laser ou d'autres gaz utilisés dans le laboratoire sont aussi possibles.

### 12. **Procédures de contrôle des risques**

#### 12.1 *Généralités*

Trois aspects de l'emploi des lasers doivent être pris en considération dans l'évaluation des risques possibles et dans l'application des mesures de contrôle:

- a) La possibilité pour le laser ou le système laser de blesser les personnes. Ceci inclut toute considération d'accès humain à l'orifice principal d'émission ou à tout orifice secondaire.
- b) L'environnement dans lequel le laser est utilisé.
- c) Le niveau de formation du personnel qui fait fonctionner le laser ou qui peut être exposé à son rayonnement.

Le moyen pratique d'évaluer et de contrôler les risques du rayonnement laser est de classer les systèmes laser en fonction de leur danger potentiel relatif, et ensuite de spécifier les contrôles appropriés pour chaque classe. L'usage du système de classification pourra dans de nombreux cas éviter tout besoin de mesure de rayonnement par l'utilisateur.

Le plan de classification concerne spécifiquement l'émission accessible du système laser et le risque potentiel basé sur ses caractéristiques physiques. Toutefois, les facteurs concernant le milieu ambiant et le personnel doivent également être pris en considération dans l'établissement des mesures de contrôle nécessaires et une personne compétente devrait être désignée en tant que responsable de sécurité laser, pour être chargée de donner un avis éclairé sur des situations que la présente norme ne mentionne pas spécifiquement.

Les détails suivants sont relatifs à l'utilisation sans danger des appareils à laser dans:

- a) le cadre des chantiers et des travaux publics où les mesures administratives fournissent souvent la seule attitude raisonnable pour obtenir une utilisation sans danger;
- b) le cadre des laboratoires et ateliers où les mesures techniques peuvent jouer le plus grand rôle;
- c) le cadre de l'affichage et de la démonstration, où l'organisation préalable, la délimitation et le contrôle de l'accès fournissent souvent la seule approche raisonnable et praticable d'un fonctionnement sans danger.

#### 12.2 *Évaluation du risque pour les lasers des classes 3B et 4 utilisés à l'extérieur*

Le risque potentiel des lasers des classes 3B et 4 peut s'étendre sur une distance considérable. La distance à partir du laser pour laquelle l'éclairement ou l'exposition énergétique tombe en dessous des EMP appropriées est appelée distance nominale de risque oculaire (DNRO). La zone à l'intérieur de laquelle l'éclairement ou l'exposition énergétique du faisceau dépasse les EMP appropriées s'appelle zone nominale de risque oculaire (ZNRO). Cette zone est définie par les limites de pointage en site et azimut du système laser compte tenu de la précision de pointage et s'étend, soit

## 11.4 *Cryogenic coolants*

Cryogenic liquids may cause burns and require special handling precautions

## 11.5 *Other hazards*

The potential for explosions at the capacitor bank or optical pump systems exists during the operation of some high-power laser systems. There is a possibility of flying particles from the target area in the laser cutting, drilling, and welding operations. Explosive reactions of chemical-laser reagents or other gases used within the laboratory are also possible.

## 12. **Procedures for hazard control**

### 12.1 *General*

Three aspects of the use of lasers need to be taken into account in the evaluation of the possible hazards and in the application of control measures:

- a) The capability of the laser or laser system to injure personnel. This includes any consideration of human access to the main exit port or any subsidiary port.
- b) The environment in which the laser is used.
- c) The level of training of the personnel who operate the laser or who may be exposed to its radiation.

The practical means for evaluation and control of laser radiation hazards is to classify laser systems according to their relative hazard potential and then to specify appropriate controls for each class. The use of the classification system will in most cases preclude any requirement for radiometric measurements by the user.

The classification scheme relates specifically to the accessible emission from the laser system and the potential hazard based on its physical characteristics. However, environmental and personnel factors are also relevant in determining the control measures required and a responsible person should be designated as laser safety officer, to be responsible for providing informed judgements on situations not specifically covered by this standard.

The following details relate to safe operation of laser products in:

- a) outdoor and construction environments where administrative controls often provide the only reasonable approach to safe operations;
- b) laboratory and workshop environments where engineering controls may play the greatest role;
- c) display and demonstration environments, where pre-planning, delineation and control of access often provide the only reasonably practicable approach to safe operation.

### 12.2 *Hazard evaluation for Class 3B and Class 4 lasers used outdoors*

The hazard potential for Class 3B and Class 4 lasers may extend over a considerable distance. The range from the laser at which the irradiance or radiant exposure falls below the appropriate MPE is termed the nominal ocular hazard distance (NOHD). The area within which the beam irradiance or radiant exposure exceeds the appropriate MPE is called the nominal ocular hazard area (NOHA). This area is bounded by the limits of traverse, elevation and pointing accuracy of the laser system and extends either to the limit of the NOHD or to the

jusqu'à la limite de la DNRO, soit jusqu'à la cible ou à un limiteur de faisceau. La délimitation exacte de la ZNRO dépend aussi de la nature de tout matériel se trouvant sur le trajet du faisceau, par exemple des réflecteurs spéculaires.

La DNRO dépend des caractéristiques d'émission du laser, des EMP appropriées, du type de système optique utilisé et de l'effet de l'atmosphère sur la propagation du faisceau. Des formules et des exemples de calcul de la DNRO sont donnés dans l'annexe A.

### 12.3 *Protection individuelle*

La nécessité d'une protection individuelle contre les risques liés à l'utilisation des lasers devrait être réduite au minimum par des mesures administratives, la conception technique et par la mise sous capot du faisceau.

Chaque fois que le personnel peut être exposé à un rayonnement laser potentiellement dangereux (classes 3B et 4), une protection individuelle adéquate doit être prévue.

### 12.4 *Démonstrations, affichages et spectacles utilisant des lasers*

Seuls les appareils à laser des classes 1 et 2 devraient être utilisés pour les démonstrations, l'affichage ou le spectacle dans des zones non surveillées. L'emploi de lasers de classe supérieure à de telles fins ne devrait être autorisé que lorsque le fonctionnement du laser est sous le contrôle d'un opérateur expérimenté et de bonne formation et/ou quand l'exposition des spectateurs à des niveaux excédant les EMP applicables est empêchée.

Tout appareil à laser de démonstration, utilisé pour des besoins d'enseignement dans les écoles, etc., doit être conforme à toutes les exigences applicables pour des appareils à laser des classes 1 ou 2 et ne doit pas permettre l'accès humain à un rayonnement laser excédant les limites d'émission accessible de la classe 1 ou de la classe 2 suivant le cas.

### 12.5 *Installations des lasers de laboratoire et d'atelier*

#### 12.5.1 *Appareils à laser des classes 2 et 3A*

Des précautions ne sont nécessaires que pour empêcher une vision continue dans le faisceau direct. Une exposition momentanée (0,25 s) qui pourrait se produire dans une situation de visée accidentelle n'est pas considérée comme dangereuse. Toutefois, le faisceau laser ne doit pas être dirigé délibérément sur les personnes. L'emploi d'instruments d'optique (par exemple des jumelles) avec des appareils à laser de la classe 3A peut être dangereux. Des précautions supplémentaires pour les lasers de la classe 3A sont données dans le paragraphe 12.6.2.

#### 12.5.2 *Appareils à laser de la classe 3B*

Les lasers de la classe 3B représentent un danger potentiel si un faisceau direct ou des réflexions spéculaires sont observés par un œil non protégé (vision directe dans le faisceau). Pour éviter une vision directe du faisceau et pour maîtriser les réflexions spéculaires, il est recommandé de prendre les précautions suivantes :

- a) Le fonctionnement du laser ne devrait avoir lieu que dans une zone contrôlée.
- b) Il faudrait veiller à ce que des réflexions spéculaires intempestives ne se produisent pas.
- c) Le faisceau laser doit être limité, si possible, à la fin de son trajet utile, par un corps formé d'un matériau diffusant, d'une couleur et d'une réflectivité telles qu'il soit possible de régler la position du faisceau tout en réduisant au minimum les risques de réflexion.

*Note.* — Les conditions de la vision sans danger d'une réflexion diffuse d'un laser de la classe 3B à rayonnement visible sont : distance minimale de vision de 13 cm entre l'écran et la cornée, et durée maximale de vision de 10 s. D'autres conditions de vision demandent une comparaison de la luminance énergétique de la réflexion diffuse avec l'exposition maximale permise (EMP).

position of any target or backstop. The exact NOHA will also depend on the nature of any material within the beam path, e.g., specular reflectors.

The NOHD is dependent on the output characteristics of the laser, the appropriate MPE, the type of optical system used, and the effect of the atmosphere on beam propagation. Formulae and examples for calculating the NOHD are given in Appendix A.

### 12.3 *Personal protection*

The need to use personal protection against the hazardous effects of laser operation should be kept to a minimum by administrative controls, engineering design and by beam enclosure.

When personnel may be exposed to potentially hazardous laser radiation (Class 3B and Class 4) adequate personal protection should be provided.

### 12.4 *Laser demonstrations, displays and exhibitions*

Only Class 1 or Class 2 laser products should be used for demonstration, display or entertainment in unsupervised areas. The use of lasers of a higher class for such purposes should be permitted only when the laser operation is under the control of an experienced, well-trained operator and/or when spectators are prevented from exposure to levels exceeding the applicable MPE.

Each demonstration laser product used for educational purposes in schools, etc. should comply with all of the applicable requirements for a Class 1 or Class 2 laser product and shall not permit human access to laser radiation in excess of the accessible emission limits of Class 1 or Class 2 as applicable.

### 12.5 *Laboratory and workshop laser installations*

#### 12.5.1 *Class 2 and Class 3A laser products*

Precautions are only required to prevent continuous viewing of the direct beam; a momentary (0.25 s) exposure as would occur in accidental viewing situations is not considered hazardous. However, the laser beam should not be intentionally aimed at people. The use of optical viewing aids (e.g., binoculars) with Class 3A laser products may be hazardous. Additional precautions for Class 3A lasers are given in Sub-clause 12.6.2.

#### 12.5.2 *Class 3B laser products*

Class 3B lasers are potentially hazardous if a direct beam or specular reflection is viewed by the unprotected eye (intrabeam viewing). The following precautions should be taken to avoid direct beam viewing and to control specular reflections.

- a) The laser should only be operated in a controlled area.
- b) Care should be exercised to prevent unintentional specular reflections.
- c) The laser beam should be terminated where possible at the end of its useful path by a material that is diffuse and of such a colour and reflectivity as to make beam positioning possible while still minimizing the reflection hazards.

*Note.* — Conditions for safe viewing of a diffuse reflection of Class 3B visible laser are: minimum viewing distance of 13 cm between screen and cornea and a maximum viewing time of 10 s. Other viewing conditions require a comparison of the diffuse reflection radiance with the MPE.

- d) La protection oculaire est nécessaire s'il existe une possibilité d'observer le faisceau soit directement, soit par réflexion spéculaire, ou d'observer une réflexion diffuse qui n'est pas conforme aux conditions du point c).
- e) A l'entrée des zones devrait être affiché un panneau avertisseur laser normalisé.

### 12.5.3 Appareils à laser de la classe 4

Les appareils à laser de la classe 4 peuvent produire des lésions à la fois par le faisceau direct ou ses réflexions spéculaires et par des réflexions diffuses. Ils représentent également un risque potentiel d'incendie. Afin de réduire ces risques au minimum, il faudrait appliquer les mesures suivantes, en complément de celles du paragraphe 12.5.2.

- a) Les trajets des faisceaux devraient être protégés par une enceinte, chaque fois que c'est possible. L'accès au voisinage du laser pendant son fonctionnement devrait être limité aux personnes portant des protecteurs oculaires antilaser appropriés et des vêtements de protection.
- b) Les lasers de la classe 4 devraient être commandés à distance, chaque fois que c'est possible en éliminant ainsi la nécessité de présence physique du personnel à proximité du laser.
- c) Un bon éclairage intérieur est important dans les zones où l'œil est protégé. Une couleur claire et diffusante de la surface des murs contribue à remplir cette condition.
- d) L'incendie est le principal danger associé aux lasers de grande puissance (par exemple: anhydride carbonique, acide fluorhydrique, fluorure de deutérium). Une épaisseur suffisante de brique réfractaire ou d'un autre matériau réfractaire devrait être prévue pour arrêter le faisceau. Des précautions devraient être prises avec ces matériaux car ils peuvent devenir brillants en surface après une exposition prolongée et donner lieu à des réflexions spéculaires. On leur préférera des cibles métalliques non planes convenablement refroidies, telles que les cônes et les absorbeurs.
- e) Il peut être nécessaire de prendre des précautions spéciales pour empêcher les réflexions indésirables dans la partie invisible du spectre pour le rayonnement laser situé dans l'infrarouge lointain, et le faisceau et la zone d'impact devraient être entourés d'un matériau opaque pour la longueur d'onde du laser (même des surfaces métalliques mates peuvent devenir hautement spéculaires à la longueur d'onde du CO<sub>2</sub> de 10,6 μm).

## 12.6 Installations des lasers de chantier et de construction

### 12.6.1 Appareils à laser de classe 2

Partout où c'est raisonnablement possible, le faisceau devrait être arrêté à la fin de son trajet utile et le laser ne devrait pas être dirigé sur le personnel (à hauteur de la tête).

### 12.6.2 Appareils à laser de classe 3A utilisés pour la topographie, l'alignement et le nivellement

- a) Seuls des membres du personnel qualifiés, compétents et agréés par un responsable de sécurité laser devraient être affectés aux travaux d'installation, de réglage et à la mise en œuvre du matériel laser.
- b) Un panneau avertisseur laser normalisé devrait être affiché dans les zones où ces lasers sont utilisés.
- c) Partout où cela s'avère possible, des moyens mécaniques ou électroniques devraient être utilisés pour faciliter l'alignement du laser.
- d) Des précautions devraient être prises pour s'assurer que des personnes ne regardent pas directement dans le faisceau (une vision directe prolongée dans le faisceau est dangereuse). La vision directe du faisceau à travers des instruments d'optique (théodolite, etc.) peut être dangereuse et ne devrait pas être autorisée sans l'accord spécifique d'un responsable de sécurité laser.

- d) Eye protection is required if there is any possibility of viewing either the direct or specularly reflected beam, or of viewing a diffuse reflection not complying with the conditions of Item c).
- e) The entrances to areas should be posted with a standard laser warning sign.

### 12.5.3 Class 4 laser products

Class 4 laser products can cause injury from both the direct beam or its specular reflections and from diffuse reflections. They also present a potential fire hazard. The following controls should be employed in addition to those of Sub-clause 12.5.2 to minimize these risks.

- a) Beam paths should be enclosed whenever practicable. Access to the laser environment during laser operation should be limited to persons wearing proper laser protective eyewear and protective clothing.
- b) Class 4 lasers should be operated by remote control whenever practicable, thus eliminating the need for personnel to be physically present in the laser environment.
- c) Good room illumination is important in areas where laser eye protection is worn. Light-coloured diffuse wall surfaces help to achieve this condition.
- d) Fire is a principal hazard associated with high-powered lasers (e.g., carbon dioxide, hydrogen fluoride, deuterium fluoride). A sufficient thickness of fire brick or other refractory material should be provided as a backstop for the beam. Caution should be observed with these materials as surface glazing may occur with prolonged exposure and give rise to specular reflection. Adequately cooled non-flat metal targets such as cones and absorbers are preferred.
- e) Special precautions may be required to prevent unwanted reflections in the invisible spectrum from far-infra-red laser radiation and the beam and target area should be surrounded by a material opaque to the laser wavelength. (Even dull metal surfaces may become highly specular at the CO<sub>2</sub> wavelength of 10.6 μm).

## 12.6 Outdoor and construction laser installations

### 12.6.1 Class 2 laser products

Wherever reasonably practicable the beam should be terminated at the end of its useful path, and the laser should not be aimed at personnel (at head height).

### 12.6.2 Class 3A laser products used for surveying, alignment and levelling

- a) Only qualified and trained employees approved by a laser safety officer should be assigned to install, adjust and operate the laser equipment.
- b) Areas in which these lasers are used should be posted with a standard laser warning sign.
- c) Wherever practicable, mechanical or electronic means should be used to assist in the alignment of the laser.
- d) Precautions should be taken to ensure that persons do not look directly into the beam (prolonged intrabeam viewing is hazardous). Direct viewing of the beam through optical instruments (theodolite, etc.) may be hazardous and should not be permitted unless specifically approved by a laser safety officer.

- e) Le faisceau laser devrait être arrêté à la fin de son trajet utile et devrait, dans tous les cas, être limité si le trajet dangereux du faisceau (jusqu'à la DNRO) s'étend au-delà de la zone contrôlée.
- f) Le trajet du faisceau laser devrait être situé bien au-dessus ou au-dessous de la hauteur de l'œil, partout où cela s'avère possible.
- g) Des précautions devraient être prises pour s'assurer que le faisceau laser ne soit pas dirigé sans condition sur des surfaces réfléchissantes (spéculaires) (et à plus forte raison sur des surfaces réfléchissantes planes).
- h) Lorsqu'il n'est pas utilisé, le laser devrait être entreposé dans un emplacement où les personnes non autorisées ne peuvent entrer.

#### 12.6.3 Appareils à laser des classes 3B et 4

Les lasers des classes 3B et 4 utilisés à l'extérieur ne devraient être mis en œuvre que par un personnel ayant une expérience suffisante de leur utilisation et agréé par le responsable de sécurité laser. Pour réduire au minimum les dangers d'accident, il convient de prendre les précautions suivantes, en complément de celles indiquées au paragraphe 12.6.2.

- a) Le trajet du faisceau devrait être interdit au personnel en tout point où l'éclairage ou l'exposition énergétique du faisceau dépasse les EMP, sauf si le personnel porte les protecteurs oculaires et les vêtements de protection appropriés. Des dispositifs techniques tels que: écrans physiques, sécurités limitant le débatement horizontal et vertical du faisceau, etc., devraient être utilisés partout où cela est possible afin de renforcer les mesures administratives.
- b) La poursuite optique intentionnelle des véhicules de circulation routière ou aérienne n'ayant pas de rapport avec l'objectif devrait être interdite dans les limites de la distance nominale de risque oculaire.
- c) Les trajets des faisceaux devraient, chaque fois que possible, être dégagés de toutes surfaces susceptibles de produire des réflexions involontaires présentant un danger potentiel; sinon la zone de risque devrait être étendue de façon appropriée.
- d) Bien que la vision directe dans le faisceau des lasers de la classe 3B soit habituellement dangereuse, un faisceau peut dans tous les cas être vu sans danger au moyen d'un matériau à réflexion diffuse sous les conditions suivantes:
  - 1) une distance minimale de vision, entre l'écran et la cornée, de 13 cm;
  - 2) une durée maximale d'observation de 10 s.Si l'une au moins de ces conditions n'est pas satisfaite, une évaluation attentive du danger est nécessaire.

#### 12.6.4 Lasers de topographie, d'alignement et de nivellement

Chaque fois que possible, on devrait employer des lasers de classe 1 ou de classe 2 pour la topographie, l'alignement et le nivellement. Toutefois, des situations peuvent se présenter où les niveaux élevés de lumière ambiante entraînent l'emploi de lasers de puissance émise supérieure. Si des lasers de classe 3A sont utilisés, les prescriptions du paragraphe 12.6.2 devraient être suivies. Dans les cas exceptionnels où des lasers de classe 3B sont nécessaires, les prescriptions du paragraphe 12.6.3 devraient être suivies. De plus, l'accès humain ne devrait pas être permis pour un rayonnement laser, dans la bande de longueur d'onde de 400 nm à 700 nm, avec une puissance supérieure à  $5 \times 10^{-3}$  W pour toute durée d'émission supérieure à  $3,8 \times 10^{-4}$  s, de même que l'accès humain ne devrait pas être permis pour un rayonnement laser supérieur aux LEA de la classe 1 pour toute autre combinaison de durée d'émission et de domaine de longueur d'onde.

- e) The laser beam should be terminated at the end of its useful beam path and should in all cases be terminated if the hazardous beam path (to NOHD) extends beyond the controlled area.
- f) The laser beam path should be located well above or below eye level wherever practicable.
- g) Precautions should be taken to ensure that the laser beam is not unconditionally directed at mirror-like (specular) surfaces (most importantly, at flat mirror-like surfaces).
- h) When not in use the laser should be stored in a location where unauthorized personnel cannot gain access.

### 12.6.3 Class 3B and Class 4 laser products

Class 3B and Class 4 lasers in outdoor and similar environments should only be operated by personnel adequately trained in their use and approved by the laser safety officer. To minimize possible hazards, the following precautions should be employed in addition to those given in Sub-clause 12.6.2.

- a) Personnel should be excluded from the beam path at all points where the beam irradiance or radiant exposures exceed the MPE's unless they are wearing appropriate protective eye shields and clothing. Engineering controls such as physical barriers, interlocks limiting the beam traverse and elevation, etc. should be used wherever practicable to augment administrative controls.
- b) The intentional tracking on non-target vehicular traffic or aircraft, should be prohibited within the nominal ocular hazard distance.
- c) The beam paths should, whenever practicable, be cleared of all surfaces capable of producing unintended reflections that are potentially hazardous, or the hazard area should be extended appropriately.
- d) Although direct intrabeam viewing of Class 3B lasers is usually hazardous, a beam may in all cases be safely viewed via a diffuse reflector under the following conditions:
  - 1) minimum viewing distance between screen and cornea of 13 cm;
  - 2) maximum viewing time of 10 s.

If either one of these conditions is not satisfied, a careful evaluation of the hazard is necessary.

### 12.6.4 Lasers for surveying, alignment, and levelling

Lasers of Class 1 or Class 2 should be used for surveying, alignment, and levelling applications whenever practicable. There may be situations, however, where high ambient light levels require the use of lasers of higher output power. If Class 3A lasers are used, the requirements of Sub-clause 12.6.2 should be followed. In those exceptional cases where Class 3B lasers are necessary, the requirements of Sub-clause 12.6.3 should be followed. In addition, human access should not be permitted to laser radiation in the wavelength range of 400 nm to 700 nm with a radiant power that exceeds  $5 \times 10^{-3}$  W for any emission duration exceeding  $3.8 \times 10^{-4}$  s, nor should human access be permitted to laser radiation in excess of the AEL for Class 1 for any other combination of emission duration and wavelength range.

### 13. Expositions maximales permises

#### 13.1 Remarques générales

Les valeurs des expositions maximales permises sont destinées aux utilisateurs ; elles sont fixées en dessous des niveaux de risque connus et sont fondées sur les meilleurs renseignements disponibles obtenus par les études expérimentales. Les valeurs des EMP devraient être utilisées comme guides dans le contrôle des expositions et ne devraient pas être considérées comme des frontières précises entre les niveaux de sécurité et les niveaux de danger. Dans tous les cas, l'exposition au rayonnement laser doit être aussi faible que possible. Quand un laser émet un rayonnement sur plusieurs longueurs d'onde très différentes, ou lorsque des impulsions sont superposées à un fond d'émission continue, le calcul du risque peut s'avérer complexe.

On peut admettre que des expositions à des rayonnements à plusieurs longueurs d'onde ont un effet additif en proportion de leur efficacité spectrale conformément aux EMP des tableaux VI, VII et VIII, sous réserve que :

- a) les largeurs d'impulsions ou les durées d'exposition soient dans les limites d'un même ordre de grandeur, et
- b) les domaines spectraux soient indiqués comme additifs par les symboles (o) pour l'exposition oculaire et (p) pour l'exposition de la peau dans le tableau V.

TABLEAU V

Additivité des effets sur l'œil (o) et sur la peau (p) de rayonnements de domaines spectraux différents

Domaine spectral*	UVC et UVB 200 à 315 nm	UVA 315 à 400 nm	Visible et IRA 400 à 1400 nm	IRB et IRC 1400 à 10 <sup>6</sup> nm
UVC et UVB 200 à 315 nm	o p			
UVA 315 à 400 nm		o p	p	o p
Visible et IRA 400 à 1400 nm		p	o p	p
IRB et IRC 1400 à 10 <sup>6</sup> nm		o p	p	o p

\* Pour les définitions des domaines spectraux, voir le tableau BI.

Quand les longueurs d'onde rayonnées ne sont pas indiquées comme additives, les risques doivent être évalués séparément. Pour les longueurs d'onde qui sont indiquées comme additives, mais lorsque les largeurs d'impulsions ou les durées d'exposition ne sont pas du même ordre de grandeur, une extrême prudence s'impose (par exemple dans le cas d'exposition simultanée à un rayonnement pulsé et à un rayonnement continu).

### 13. Maximum permissible exposures

#### 13.1 General remarks

Maximum permissible exposure values are for users and are set below known hazard levels, and are based on the best available information from experimental studies. The MPE values should be used as guides in the control of exposures and should not be regarded as precisely defined dividing lines between safe and dangerous levels. In any case, exposure to laser radiation shall be as low as possible. When a laser emits radiation at several widely different wavelengths, or where pulses are superimposed upon a CW background, calculations of the hazard may be complex.

Exposures from several wavelengths should be assumed to have an additive effect on a proportional basis of spectral effectiveness according to the MPEs of Tables VI, VII, and VIII provided that:

- a) the pulse widths or exposure times are within one order of magnitude, and
- b) the spectral regions are shown as additive by the symbols (o) for ocular and (s) for skin exposure in the matrix of Table V.

TABLE V

*Additivity of effects on eye (o) and skin (s) of radiation of different spectral regions*

Spectral region*	UV-C and UV-B 200 to 315 nm	UV-A 315 to 400 nm	Visible and IR-A 400 to 1400 nm	IR-B and IR-C 1400 to 10 <sup>6</sup> nm
UV-C and UV-B 200 to 315 nm	o s			
UV-A 315 to 400 nm		o s	s	o s
Visible and IR-A 400 to 1400 nm		s	o s	s
IR-B and IR-C 1400 to 10 <sup>6</sup> nm		o s	s	o s

\* For definitions of spectral regions, see Table BI.

Where the wavelengths radiated are not shown as additive, the hazards should be assessed separately. For wavelengths which are shown as additive, but when the pulse widths or exposure times are not within one order of magnitude, extreme caution is required (e.g., in the case of simultaneous exposure to pulsed and CW radiation).

### 13.2 Diaphragme limite

Un diaphragme approprié devrait être utilisé pour toutes les mesures et les calculs des valeurs d'exposition. C'est le diaphragme limite et il est défini par le diamètre d'une surface circulaire sur laquelle l'éclairement ou l'exposition énergétique doivent être comptés en valeur moyenne. Des valeurs des diaphragmes limites sont données au tableau VI.

*Note.* — Les valeurs des expositions oculaires aux rayonnements visible et infrarouge proche sont mesurées à travers un diaphragme de 7 mm de diamètre (pupille de l'œil). La valeur de l'EMP ne doit pas être rectifiée pour tenir compte des diamètres de pupille plus petits. De plus, les valeurs des EMP du tableau VII, pour les longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 1400 nm doivent être prises en valeur moyenne sur un angle plus petit que  $\alpha_{\min}$ .

### 13.3 Lasers modulés ou à impulsions répétitives

Du fait du nombre limité de données existant sur les critères d'exposition aux impulsions multiples, il faut être circonspect dans l'évaluation de l'exposition au rayonnement à impulsions répétitives. Pour déterminer les EMP applicables aux expositions répétitives, il convient d'utiliser les méthodes suivantes:

13.3.1 Les EMP pour des expositions oculaires aux longueurs d'onde  $400 \text{ nm} < \lambda < 1400 \text{ nm}$  sont déterminées en utilisant la plus restrictive des prescriptions des points a), b) et c) ou a), b) et d) suivant le cas.

Les EMP pour des expositions oculaires à d'autres longueurs d'onde ou pour l'exposition de la peau sont déterminées en utilisant la plus restrictive des prescriptions a) et b).

- a) L'exposition à une seule impulsion du train ne doit pas dépasser l'EMP pour une impulsion unique.
- b) L'éclairement moyen pour un train d'impulsions de durée  $T$  ne doit pas dépasser les EMP données dans les tableaux VI, VII et VIII pour une impulsion unique de durée  $T$ .
- c) Si la durée d'une impulsion individuelle est inférieure à  $10^{-5}$  s, pour des trains d'impulsions dont la fréquence instantanée de répétition des impulsions (FRI) est supérieure à 1 Hz, l'EMP applicable à chaque impulsion doit être prise comme l'EMP d'une impulsion isolée unique multipliée par le facteur de correction de la FRI  $C_5$  (donné dans la figure 7, page 90) qui varie en fonction de la fréquence de répétition des impulsions  $N$ :

$$\begin{aligned} &\text{pour } N \text{ compris entre } 1 \text{ Hz et } 278 \text{ Hz, } C_5 = 1/\sqrt{N} \\ &\text{pour } N \text{ supérieur à } 278 \text{ Hz, } C_5 = 0,06 \end{aligned}$$

- d) Si la durée d'une impulsion individuelle est supérieure à  $10^{-5}$  s et si la fréquence instantanée de répétition des impulsions est supérieure à 1 Hz, la formule suivante doit être utilisée:

$$\text{EMP}_{(\text{pour une impulsion})} = \frac{\text{EMP}_{(nt)}}{n}$$

où:

- $n$  = nombre d'impulsions du train
- $t$  = largeur d'une impulsion
- $\text{EMP}_{(nt)}$  = EMP relative à une impulsion de largeur  $nt$

13.3.2 Pour les trains d'impulsions ayant une FRI variable ou non uniforme (par exemple modulation de fréquence des impulsions), il convient d'utiliser la valeur instantanée maximale de la FRI, et de calculer l'EMP applicable à chaque impulsion comme dans le paragraphe 13.3.1.

13.3.3 Si un train d'impulsions comporte une séquence ou un groupe de 10 ou moins de 10 impulsions individuelles, la séquence étant répétée à intervalles réguliers ou semi-réguliers, on peut simplifier l'analyse en réduisant chaque groupe individuel d'impulsions à une seule impulsion équivalente et en appliquant les dispositions des paragraphes 13.3.1 ou 13.3.2. La méthode de détermination de l'impulsion équivalente se présente comme suit:

### 13.2 Limiting apertures

An appropriate aperture should be used for all measurements and calculations of exposure values. This is the limiting aperture and is defined in terms of the diameter of a circular area over which the irradiance or radiant exposure is to be averaged. Values for limiting apertures are shown in Table VI.

*Note.* — These values of ocular exposures to visible and near-infra-red radiation are measured over a 7 mm diameter aperture (pupil). The MPE value is not to be adjusted to take into account smaller pupil diameters. Additionally, the MPE values in Table VII for wavelengths between 400 nm and 1400 nm should be averaged over an angle less than  $\alpha_{\min}$ .

### 13.3 Repetitively pulsed or modulated lasers

Since there are only limited data on multiple pulse exposure criteria, caution must be used in the evaluation of exposure to repetitively pulsed radiation. The following methods should be used to determine the MPE to be applied to repetitive exposures.

#### 13.3.1 The MPE for ocular exposure at wavelengths $400 \text{ nm} < \lambda < 1400 \text{ nm}$ is determined by using the most restrictive of requirements of Items *a)*, *b)* and *c)* or *a)*, *b)* and *d)* as appropriate.

The MPE for ocular exposure at other wavelengths or exposure of skin is determined by using the most restrictive of requirements *a)* and *b)*.

- a)* The exposure from any single pulse within the train shall not exceed the MPE for a single pulse.
- b)* The average irradiance for a pulse train of duration  $T$  shall not exceed the MPE given in Tables VI, VII, and VIII for a single pulse of duration  $T$ .
- c)* If the individual pulse duration is less than  $10^{-5}$  s, for pulse trains where the instantaneous pulse repetition frequency (PRF) is greater than 1 Hz, the MPE applicable to each pulse shall be taken as the MPE of a single isolated pulse reduced by the PRF correction factor  $C_5$  (shown in Figure 7, page 90) which varies with the pulse repetition frequency  $N$ :

$$\begin{aligned} \text{for } N \text{ between 1 Hz and 278 Hz, } C_5 &= 1/\sqrt{N} \\ \text{for } N \text{ greater than 278 Hz, } C_5 &= 0.06 \end{aligned}$$

- d)* If the individual pulse duration is greater than  $10^{-5}$  s, and where the instantaneous pulse repetition frequency is greater than 1 Hz, the following formula shall be used:

$$\text{MPE}_{(\text{single})} = \frac{\text{MPE}_{(nt)}}{n}$$

where:

- $n$  = number of pulses in the train
- $t$  = individual pulse width
- $\text{MPE}_{(nt)}$  = MPE applicable to a pulse of width  $nt$

#### 13.3.2 For pulse trains having a non-uniform or variable PRF (e.g. pulse rate modulation) the maximum instantaneous value of PRF attainable should be applied, and the MPE applicable to each pulse calculated as in Sub-clause 13.3.1.

#### 13.3.3 When a pulse train consists of a pattern or group of 10 or less individual pulses, the pattern being repeated at regular or semi-regular intervals, the analysis can be simplified by reducing each individual group of pulses to a single equivalent pulse and applying the provisions of Sub-clauses 13.3.1 or 13.3.2. The method of determining the equivalent pulse shall be as follows:

- a) Si la largeur d'une impulsion de la séquence ou du groupe est inférieure à  $10^{-5}$  s, l'impulsion unique équivalente doit avoir une largeur égale à la plus petite largeur d'impulsion contenue dans le groupe et une exposition énergétique égale à l'exposition énergétique totale du groupe.
- b) Si la largeur d'une impulsion de la séquence ou du groupe est supérieure à  $10^{-5}$  s, l'impulsion unique équivalente doit avoir une largeur égale à la somme des largeurs des impulsions individuelles contenues dans le groupe, son exposition énergétique devant être égale à l'exposition énergétique totale du groupe.
- c) Dans certains cas, les EMP obtenues par les méthodes indiquées ci-dessus peuvent conduire à une situation plus restrictive que celle qui se serait produite si les dispositions des paragraphes 13.3.1 et 13.3.2 avaient été appliquées au train d'impulsions initial; dans ce cas on peut adopter la valeur d'EMP la moins restrictive.

Si un train d'impulsions consiste en une séquence ou un groupe de 10 impulsions répété à intervalles réguliers ou semi-réguliers, il convient d'appliquer les dispositions des paragraphes 13.3.1 et 13.3.2 avec une FRI déterminée par la FRI instantanée la plus élevée dans les limites du groupe.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60825-1:2014

- a) If the group or pattern pulse width is less than  $10^{-5}$  s, the equivalent single pulse shall have a pulse width equal to the narrowest pulse width within the group, and a radiant exposure equal to the total radiant exposure of the group.
- b) If the group or pattern pulse width is greater than  $10^{-5}$  s, the equivalent single pulse shall have a pulse width equal to the sum of the individual pulse widths within the group, with a radiant exposure equal to the total radiant exposure of the group.
- c) In some cases the MPE derived by the methods outlined above may lead to a more restrictive situation than would have resulted if the provisions of Sub-clauses 13.3.1 and 13.3.2 had been applied to the original pulse train. Under these circumstances the less restrictive MPE value may be taken.

When a pulse train consists of a pattern or group of more than 10 pulses repeated at regular or semi-regular intervals, the provisions of Sub-clauses 13.3.1 and 13.3.2 should be applied with a PRF determined by the highest instantaneous PRF within the group.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60825-1:1984

WithDRAWN

TABLEAU VI

Exposition maximale permise (EMP) au niveau de la cornée pour l'exposition oculaire directe au rayonnement laser (vision directe dans le faisceau) (voir figures 9 et 10, pages 91 à 93)

Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Durée d'exposition $t$ (s)	$< 10^{-9}$	$10^{-9}$ à $10^{-7}$	$1,8 \times 10^{-5}$ à $1,8 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$ à 10	10 à $10^3$	$10^3$ à $10^4$	$10^4$ à $3 \times 10^4$	
200 à 302,5		$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$							
302,5 à 315		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
315 à 400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
400 à 550		$5 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$18 t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
550 à 700		$5 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$18 t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$t > T_2 \quad C_3 \times 10^2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
700 à 1050		$5 \times C_4 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$18 \times C_4 t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$3,2 \times C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
1050 à 1400		$5 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$5 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$90 \times t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
1400 à $10^6$		$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5600 \times t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			

Le diamètre des diaphragmes limites doit être pour : 1 mm,  $200 < \lambda < 400 \text{ nm}$   
 7 mm,  $400 < \lambda < 1400 \text{ nm}$   
 1 mm,  $1400 < \lambda < 10^5 \text{ nm}$   
 11 mm,  $10^5 < \lambda < 10^6 \text{ nm}$

Note. — Pour le rayonnement laser à impulsions répétitives, utiliser les règles du paragraphe 13.3.

(Voir notes page 86)

TABLE VI  
 Maximum permissible exposure (MPE) at the cornea for direct ocular exposure to laser radiation (intrabeam viewing).  
 (See Figures 9 and 10, pages 91 to 93).

Wave-length $\lambda$ (nm)	Exposure time $t$ (s)	$< 10^{-9}$	$10^{-9}$ to $10^{-7}$	$10^{-7}$ to $1.8 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-5}$ to $5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$ to 10	10 to $10^3$	$10^3$ to $10^4$	$10^4$ to $3 \times 10^4$	
200 to 302.5		$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$								
302.5 to 315		$3 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$t > T_1$	$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
315 to 400			$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$t < T_1$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
400 to 550						$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
550 to 700		$5 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$18 \cdot t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$t > T_2$	$C_3 \times 10^2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_3 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		
700 to 1050		$5 \times C_4 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-3} \times C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$18 \times C_4 \cdot t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$3.2 \times C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
1050 to 1400		$5 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$90 \times t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
1400 to $10^6$		$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5600 \times t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			

(See notes page 87)

Diameter of limiting apertures shall be for:  
 1 mm,  $200 < \lambda < 400 \text{ nm}$   
 7 mm,  $400 < \lambda < 1400 \text{ nm}$   
 1 mm,  $1400 < \lambda < 10^5 \text{ nm}$   
 11 mm,  $10^5 < \lambda < 10^6 \text{ nm}$

Note. — For repetitively pulsed laser radiation, use rules in Sub-clause 13.3.

TABLEAU VII

Exposition maximale permise (EMP) au niveau de la cornée pour la vision d'une source laser étendue ou d'un faisceau laser par réflexion diffuse (voir figures 9, 10 et 11, pages 91 à 95)

Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Durée d'exposition $t$ (s)	$< 10^{-9}$	$10^{-9}$ à $10^{-7}$	$10^{-7}$ à $10$	$10$ à $10^3$	$10^3$ à $10^4$	$10^4$ à $3,10^4$
200 à 302,5					30 J . m <sup>-2</sup>		
302,5 à 315		$3 \times 10^{10}$ W . m <sup>-2</sup>	$C_1$ J . m <sup>-2</sup>	$C_2$ J . m <sup>-2</sup>	$C_2$ J . m <sup>-2</sup>		
315 à 400			$C_1$ J . m <sup>-2</sup>	$C_1$ J . m <sup>-2</sup>	$10^4$ J . m <sup>-2</sup>		
400 à 550					$10^4$ J . m <sup>-2</sup>		
550 à 700		$10^{11}$ W . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$10^5 \times f^{0,33}$ J . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>		$2,1 \times 10^5$ J . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$21 \times C_3 \times 10^5$ J . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	
700 à 1050		$10^{11} \times C_4$ W . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$10^5 \times C_4 \times f^{0,33}$ J . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>		$3,8 \times 10^4 \times C_4 \times f^{0,75}$ J . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$6,4 \times 10^3 \times C_4$ W . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	
1050 à 1400		$5 \times 10^{11}$ W . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$5 \times 10^5 \times f^{0,33}$ J . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>		$1,9 \times 10^5 \times f^{0,75}$ J . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	$3,2 \times 10^4$ W . m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup>	
1400 à 10 <sup>6</sup>		$10^{11}$ W . m <sup>-2</sup>	$100$ J . m <sup>-2</sup>	$5600 \times f^{0,25}$ J . m <sup>-2</sup>	$1000$ W . m <sup>-2</sup>		

(Voir notes page 86)

TABLE VII

Maximum permissible exposure (MPE) at the cornea for viewing an extended source laser or a laser beam by diffuse reflection.  
(See also Figures 9, 10 and 11, pages 91 to 95)

Wave-length $\lambda$ (nm)	Exposure time $t$ (s)	$< 10^{-9}$	$10^{-9}$ to $10^{-7}$	$10^{-7}$ to 10	10 to $10^3$	$10^3$ to $10^4$	$10^4$ to $3 \cdot 10^4$	
200 to 302.5		$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$						
302.5 to 315		$3 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ $t < T_1$	$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ $t > T_1$	$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
315 to 400			$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
400 to 550					$2.1 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$		$21 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	
550 to 700		$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$10^5 \times t^{0.33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$		$2.1 \times C_3 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ $t > T_2$		$21 \times C_3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	
700 to 1050					$3.8 \times 10^4 \times t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$			
1050 to 1400		$10^{11} \times C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$10^5 \times C_4 \times t^{0.33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$		$3.8 \times 10^4 \times C_4 \times t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$		$6.4 \times 10^3 \times C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	
1400 to $10^6$		$5 \times 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$5 \times 10^5 \times t^{0.33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$		$1.9 \times 10^5 \times t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$		$3.2 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	
		$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5600 \times t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		

(See notes page 87)

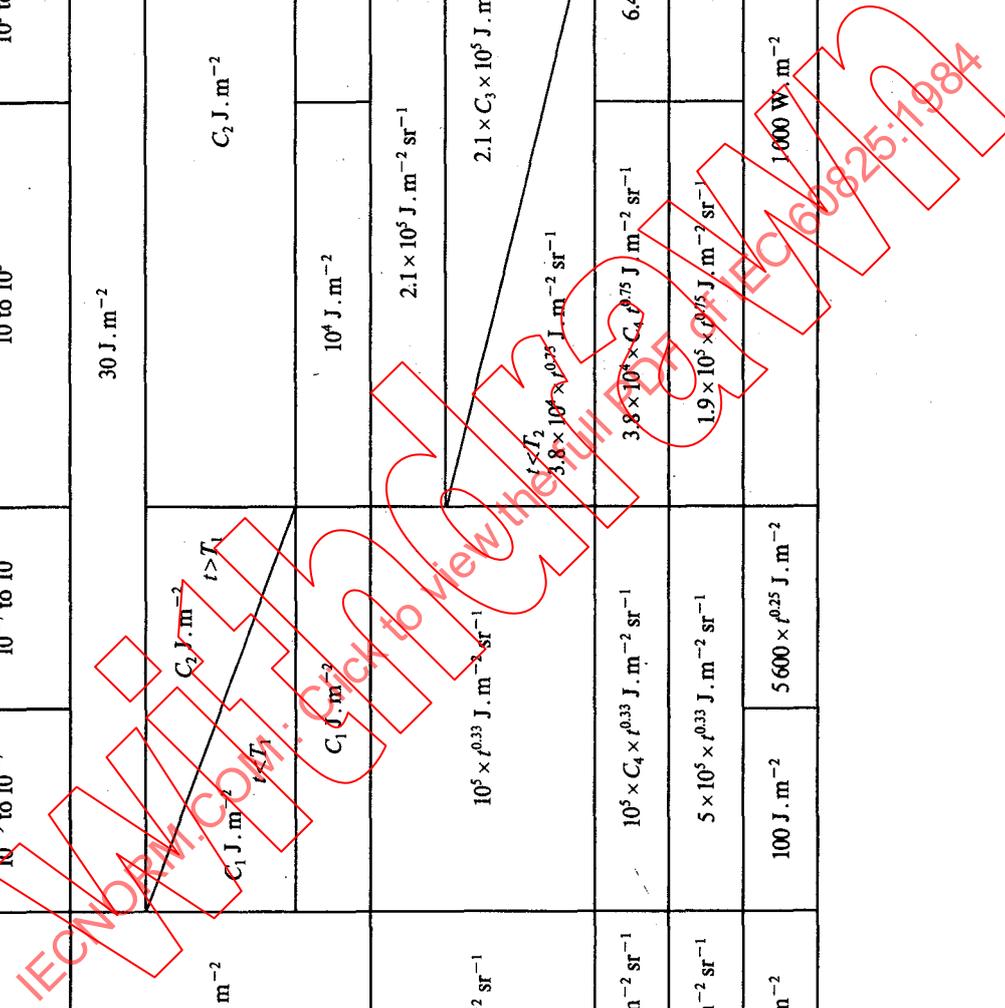


TABLEAU VIII

Exposition maximale permise (EMP) de la peau au rayonnement laser\*  
(voir figures 9 et 10, pages 91 à 93)

Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Durée d'exposition $t$ (s)	$<10^{-9}$	$10^{-9}$ à $10^{-7}$	$10^{-7}$ à 10	10 à $10^3$	$10^3$ à $3 \times 10^4$
		200 à 302,5		$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
302,5 à 315	$3 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ $t < T_1$		$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ $t > T_1$	$C_2 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
315 à 400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
400 à 1400	$2 \times 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \times 10^4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		
1400 à $10^6$	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		

\* Diaphragme limite = 1 mm pour  $\lambda < 10^3 \text{ nm}$  et 11 mm pour  $\lambda < 10^5 \text{ nm}$

(Voir notes page 86)

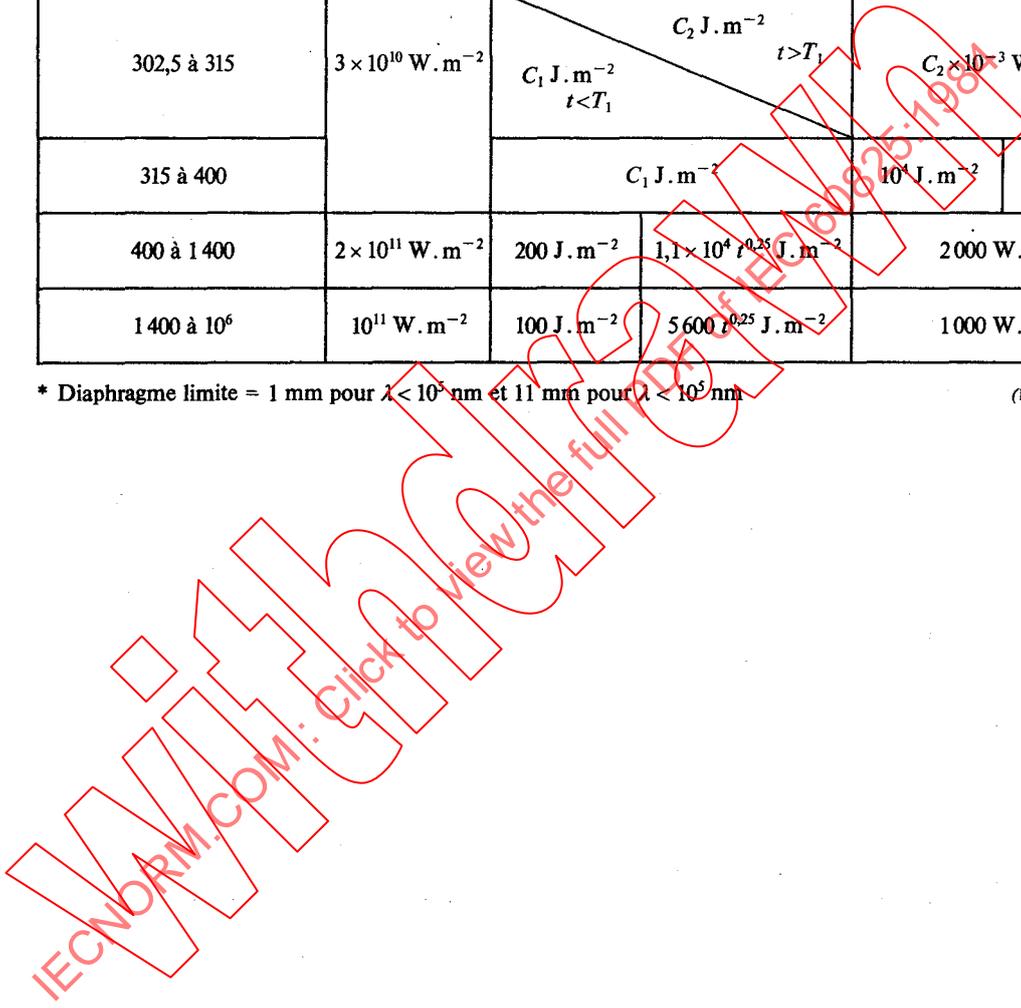


TABLE VIII

Maximum permissible exposure (MPE) of skin to laser radiation\*  
(See Figures 9 and 10, pages 91 to 93)

Wave-length $\lambda$ (nm)	Exposure time $t$ (s)	$<10^{-9}$	$10^{-9}$ to $10^{-7}$	$10^{-7}$ to 10	10 to $10^3$	$10^3$ to $3 \times 10^4$	
200 to 302.5		$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$					
302.5 to 315	$3 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ $t < T_1$			$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ $t > T_1$		$C_2 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
315 to 400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
400 to 1400	$2 \times 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1.1 \times 10^4 t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
1400 to $10^6$	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5600 t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			

\* Limiting aperture = 1 mm for  $\lambda < 10^5$  nm and 11 mm for  $\lambda < 10^6$  nm

(See notes page 87)

Notes sur les tableaux VI à VIII

- Il n'y a qu'un nombre restreint de témoignages concernant les effets des expositions d'une durée inférieure à  $10^{-9}$  s. Les EMP pour ces durées d'exposition ont été extrapolées en maintenant l'éclairement énergétique, la luminance énergétique ou l'exposition énergétique applicable à  $10^{-9}$  s.
- Les facteurs de correction  $C_1$  à  $C_4$  et les valeurs de transition  $T_1$  et  $T_2$  utilisés dans les tableaux VI à VIII sont définis par les expressions suivantes et représentés par les figures 1 à 6, pages 88 et 89.

Paramètre	Domaine spectral	Figure
$C_1 = 5,6 \times 10^3 t^{0,25}$	302,5 à 400 nm	1
$T_1 = 10^{0,8(\lambda-295)} \times 10^{-15}$ s	302,5 à 315 nm	2
$C_2 = 10^{0,2(\lambda-295)}$	302,5 à 315 nm	3
$T_2 = 10 \times 10^{0,02(\lambda-550)}$ s	550 à 700 nm	4
$C_3 = 10^{0,015(\lambda-550)}$	550 à 700 nm	5
$C_4 = 10^{(\lambda-700)/500}$	700 à 1050 nm	6

- Le facteur de correction  $C_5$  est utilisé quand c'est nécessaire pour réduire les EMP des impulsions individuelles quand elles font partie d'un train d'impulsions similaires. Voir paragraphe 13.3.

Paramètre	Fréquence de répétition des impulsions $N$	Figure
$C_5 = 1/\sqrt{N}$ $C_5 = 0,06$	1 à 278 Hz > 278 Hz	7

- L'emploi de la figure 8, page 90, sera, dans beaucoup de cas, limitée à l'exposition aux réflexions diffuses. Elle peut aussi s'appliquer à quelques groupements de lasers ou à des systèmes. Ces cas seront discutés dans les exemples de l'annexe A. La figure 8 s'applique uniquement si l'angle sous-tendu par l'œil est plus grand que le diamètre apparent limite  $\alpha_{min}$ .

Paramètre	Durée d'exposition $t$	Figure
$\alpha_{min} = 0,008$ rad $\alpha_{min} = 0,00025 \times t^{-0,17}$ rad $\alpha_{min} = 0,015 \times t^{0,21}$ rad $\alpha_{min} = 0,024$ rad	$< 10^{-9}$ s $10^{-9}$ à $1,8 \times 10^{-5}$ s $1,8 \times 10^{-5}$ s à 10 s > 10 s	8

Note. — Pour  $\lambda > 1050$  nm et pour  $t < 5 \times 10^{-5}$  s,  $\alpha_{min}$  est multiplié par un facteur 1,4.

- Le domaine de longueurs d'onde de  $\lambda_1$  à  $\lambda_2$  signifie  $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$  (par exemple 200 à 302,5 signifie  $200 < \lambda < 302,5$ ).

## Notes to Tables VI to VIII

1. There is only limited evidence about effects for exposures of less than  $10^{-9}$  s. The MPE's for these exposure times have been derived by maintaining the irradiance, radiance, or radiant exposure applying at  $10^{-9}$  s.
2. Correction factors  $C_1$  to  $C_4$  and breakpoints  $T_1$  and  $T_2$  used in Tables VI to VIII are defined in the following expressions and illustrated in Figures 1 to 6, pages 88 and 89.

Parameter	Spectral region	Figure
$C_1 = 5.6 \times 10^3 t^{0.25}$	302.5 to 400 nm	1
$T_1 = 10^{0.8(\lambda-295)} \times 10^{-15}$ s	302.5 to 315 nm	2
$C_2 = 10^{0.2(\lambda-295)}$	302.5 to 315 nm	3
$T_2 = 10 \times 10^{0.02(\lambda-550)}$ s	550 to 700 nm	4
$C_3 = 10^{0.015(\lambda-550)}$	550 to 700 nm	5
$C_4 = 10^{(\lambda-700)/500}$	700 to 1050 nm	6

3. The correction factor  $C_5$  is used when appropriate to reduce the MPE of individual pulses where these are contained in a train of similar pulses. See Sub-clause 13.3.

Parameter	Pulse repetition frequency $N$	Figure
$C_5 = 1/\sqrt{N}$ $C_5 = 0.06$	1 to 278 Hz >278 Hz	7

4. The use of Figure 8, page 90, in most cases will be restricted to exposure from diffuse reflections. It may also apply to some laser arrays or systems. These are discussed among the examples in Appendix A. Figure 8 only applies if the angle subtended at the eye is greater than the limiting angular subtense  $\alpha_{\min}$ .

Parameter	Exposure time $t$	Figure
$\alpha_{\min} = 0.008$ rad	$< 10^{-9}$ s	8
$\alpha_{\min} = 0.00025 \times t^{-0.17}$ rad	$10^{-9}$ to $1.8 \times 10^{-5}$ s	
$\alpha_{\min} = 0.015 \times t^{0.21}$ rad	$1.8 \times 10^{-5}$ s to 10 s	
$\alpha_{\min} = 0.024$ rad	$> 10$ s	

Note. — For  $\lambda > 1050$  nm and for  $t < 5 \times 10^{-5}$  s,  $\alpha_{\min}$  is increased by a factor of 1.4.

5. The wavelength range  $\lambda_1$  to  $\lambda_2$  means  $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$  (e.g. 200 to 302.5 means  $200 < \lambda < 302.5$ ).



FIG. 1. — Facteur de correction  $C_1$  pour des durées d'émission de  $10^{-9}$  s à 10 s.  
Correction factor  $C_1$  for emission durations from  $10^{-9}$  s to 10 s.

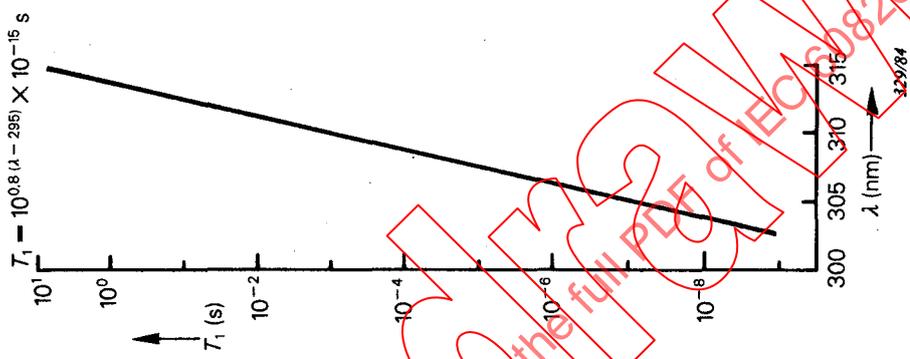


FIG. 2. — Facteur de correction  $T_1$  pour  $\lambda = 302,5$  nm à 315 nm.  
Correction factor  $T_1$  for  $\lambda = 302,5$  nm to 315 nm.

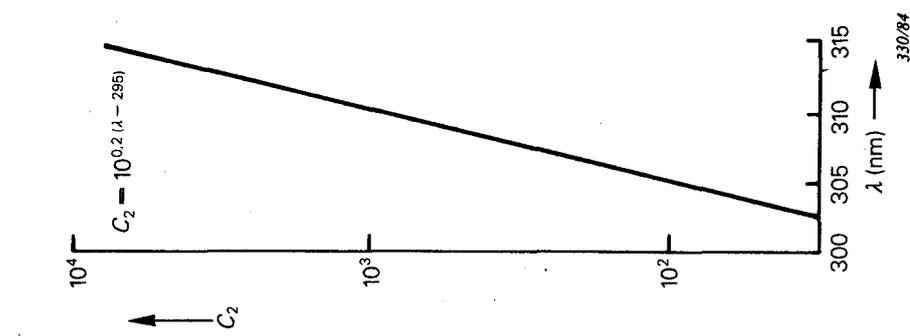


FIG. 3. — Facteur de correction  $C_2$  pour  $\lambda = 302,5$  nm à 315 nm.  
Correction factor  $C_2$  for  $\lambda = 302,5$  nm to 315 nm.

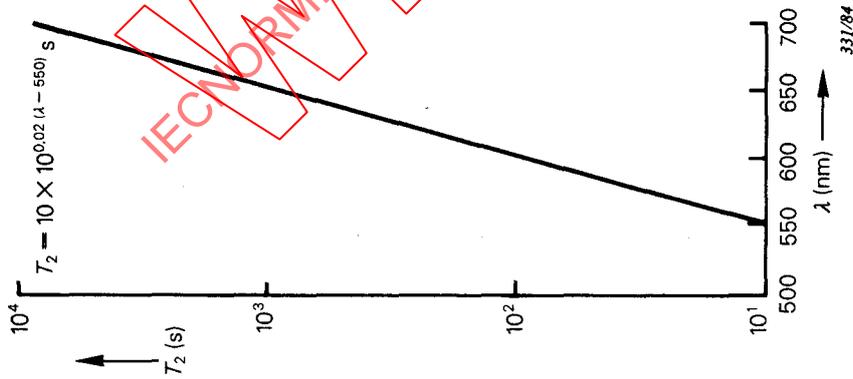


FIG. 4. — Facteur de correction  $T_2$   
pour  $\lambda = 550$  nm à 700 nm.  
Correction factor  $T_2$   
for  $\lambda = 550$  nm to 700 nm.

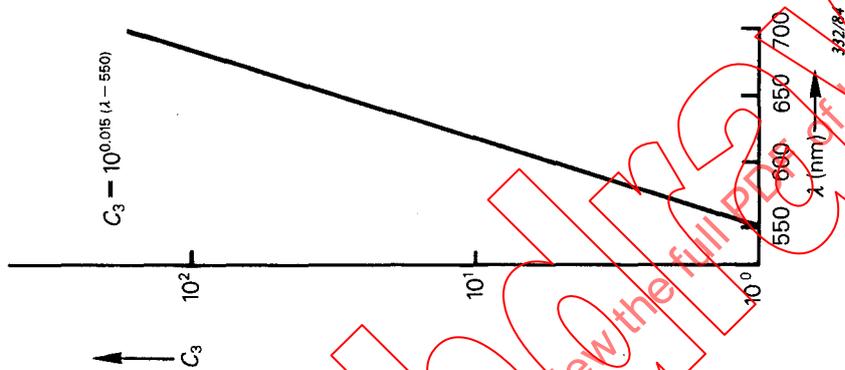


FIG. 5. — Facteur de correction  $C_3$   
pour  $\lambda = 550$  nm à 700 nm.  
Correction factor  $C_3$   
for  $\lambda = 550$  nm to 700 nm.

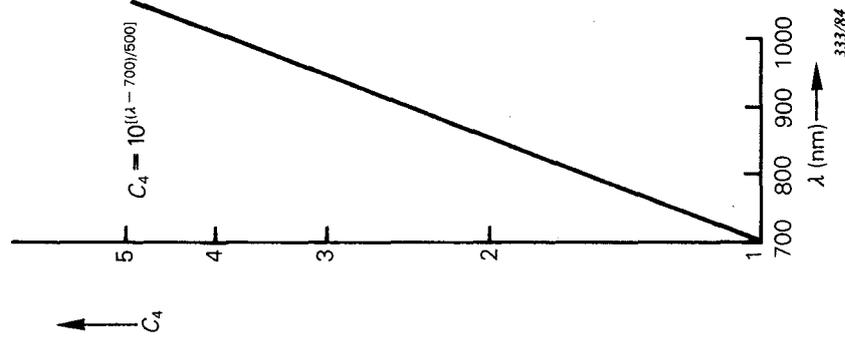


FIG. 6. — Facteur de correction  $C_4$   
pour  $\lambda = 700$  nm à 1050 nm.  
Correction factor  $C_4$   
for  $\lambda = 700$  nm to 1050 nm.

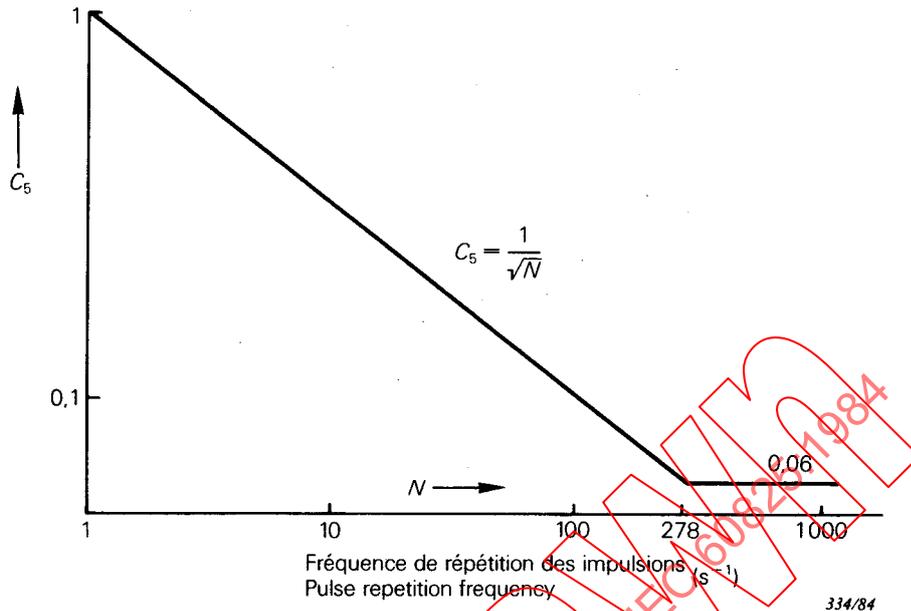


FIG. 7. — Facteur de correction  $C_5$  pour les fréquences de répétition d'impulsions  $N$  de 1 à 1000  $s^{-1}$ .  
Correction factor  $C_5$  for pulse repetition frequencies  $N$  from 1 to 1000  $s^{-1}$ .

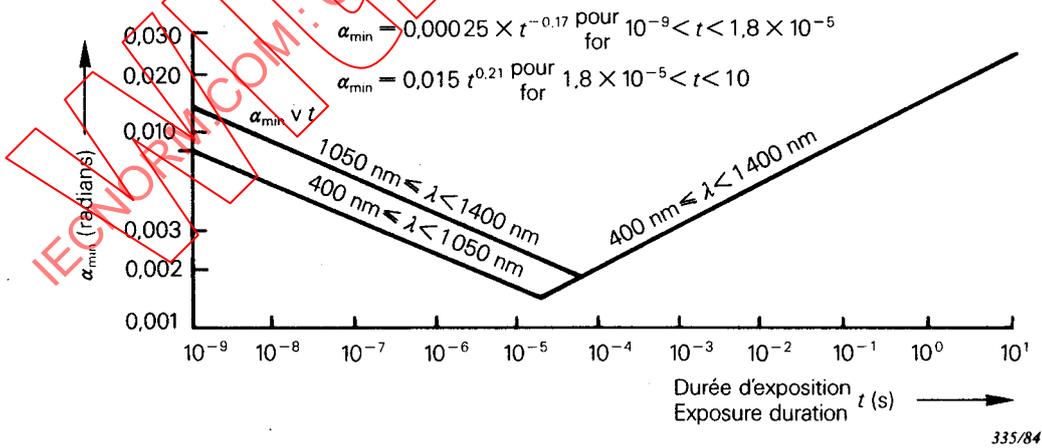


FIG. 8. — Diamètre apparent limite  $\alpha_{\min}$  pour  $\lambda = 400 \text{ nm}$  à  $1400 \text{ nm}$  à des durées d'exposition de  $10^{-9} \text{ s}$  à  $10 \text{ s}$ . (Voir tableau VIII pour les valeurs exactes.)  
Limiting angular subtense (apparent visual angle)  $\alpha_{\min}$ , for  $\lambda = 400 \text{ nm}$  to  $1400 \text{ nm}$  at exposure durations from  $10^{-9} \text{ s}$  to  $10 \text{ s}$ . (See Table VIII for exact values.)

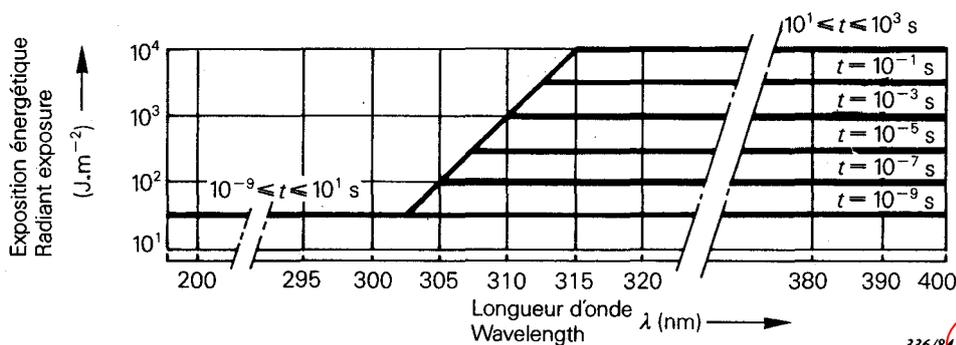


FIG. 9a. — EMP pour l'exposition oculaire directe au rayonnement ultraviolet à des durées d'émission choisie de  $10^{-9}$  à  $10^3$  s.  
 MPE for direct ocular exposure to ultra-violet radiation at selected emission durations from  $10^{-9}$  to  $10^3$  s.

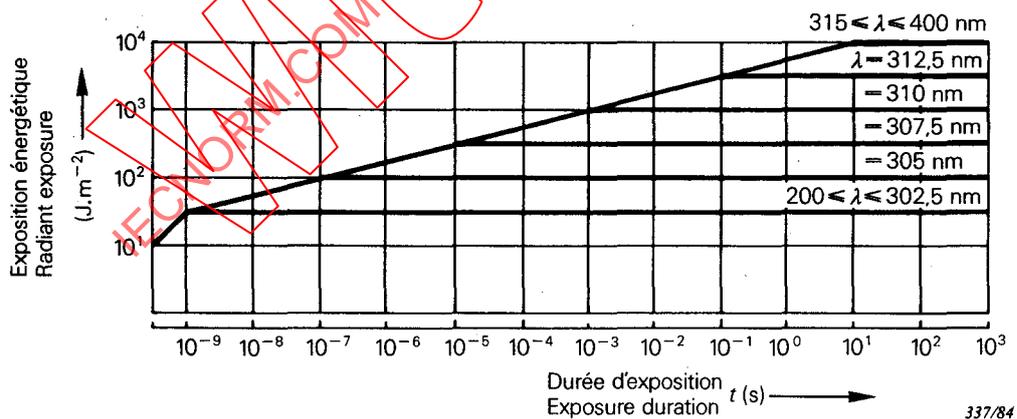


FIG. 9b. — EMP pour l'exposition oculaire directe au rayonnement ultraviolet pour des durées d'exposition de  $10^{-9}$  à  $10^3$  s à des longueurs d'onde choisies.  
 MPE for direct ocular exposure to ultra-violet radiation for exposure durations from  $10^{-9}$  to  $10^3$  s at selected wavelengths.

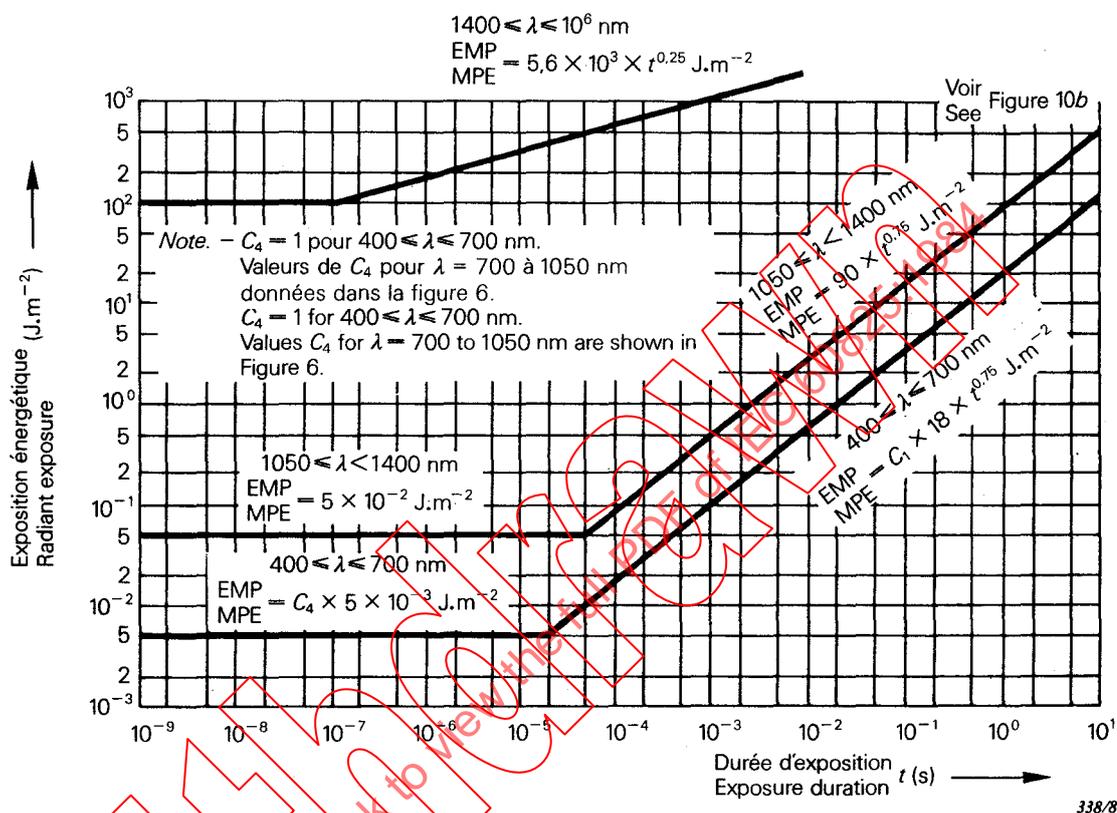


FIG. 10a. — EMP pour l'exposition oculaire directe à un rayonnement visible et infrarouge ( $\lambda = 400 \text{ nm}$  à  $10^6 \text{ nm}$ ), vision dans le faisceau pour des expositions ou des impulsions uniques.  
 MPE for direct ocular exposure to visible and infra-red radiation ( $\lambda = 400 \text{ nm}$  to  $10^6 \text{ nm}$ ), intrabeam viewing, for single pulses or exposures.

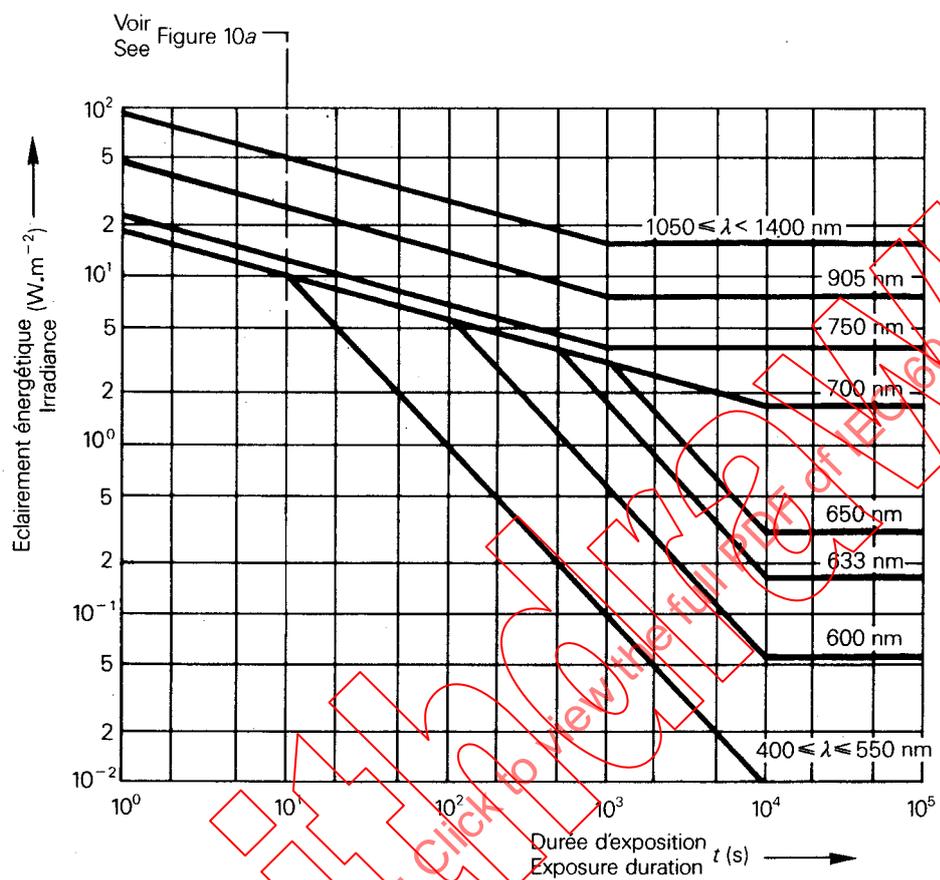


FIG. 10b. — EMP pour l'exposition oculaire directe pour des durées d'exposition supérieures à 1 s pour des longueurs d'onde choisies entre 400 nm et 1 400 nm.  
MPE for direct ocular exposure for exposure durations greater than 1 s for selected wavelengths between 400 nm and 1 400 nm.

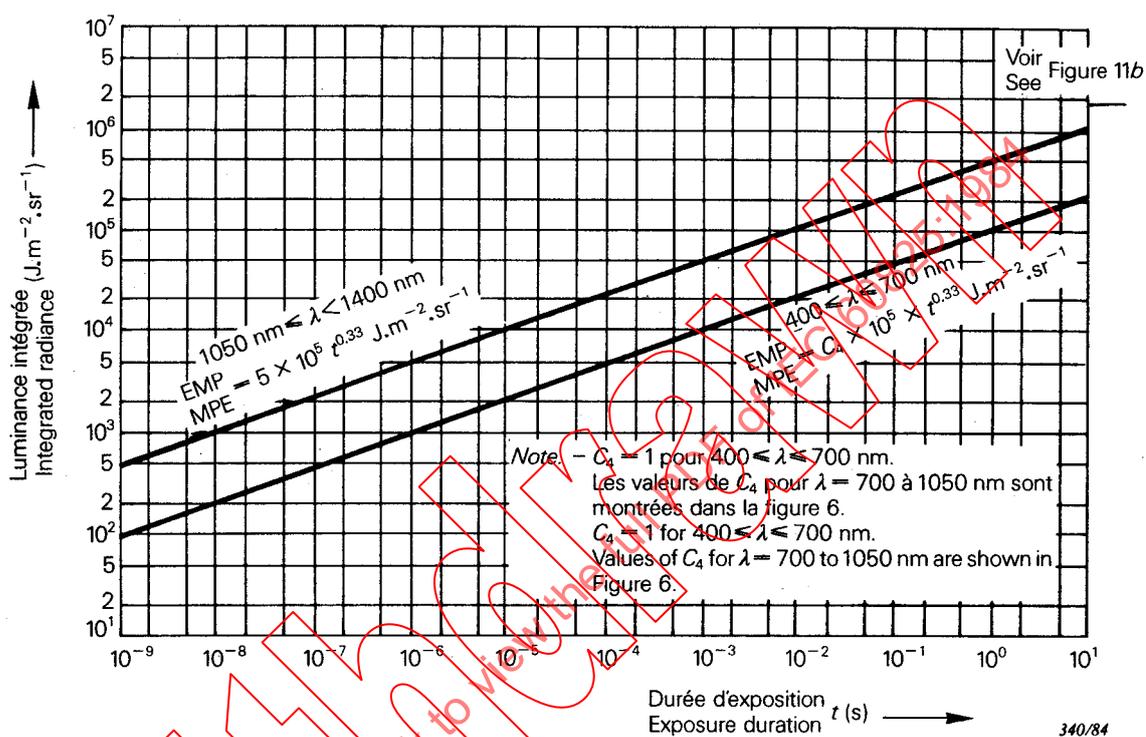


FIG. 11a. — EMP pour l'exposition oculaire directe ( $\lambda = 400$  nm à  $700$  nm et  $1050$  nm à  $1400$  nm) à partir de sources étendues pour des expositions ou des impulsions uniques.  
MPE for direct ocular exposure ( $\lambda = 400$  nm to  $700$  nm and  $1050$  nm to  $1400$  nm) from extended sources for single pulses or exposures.

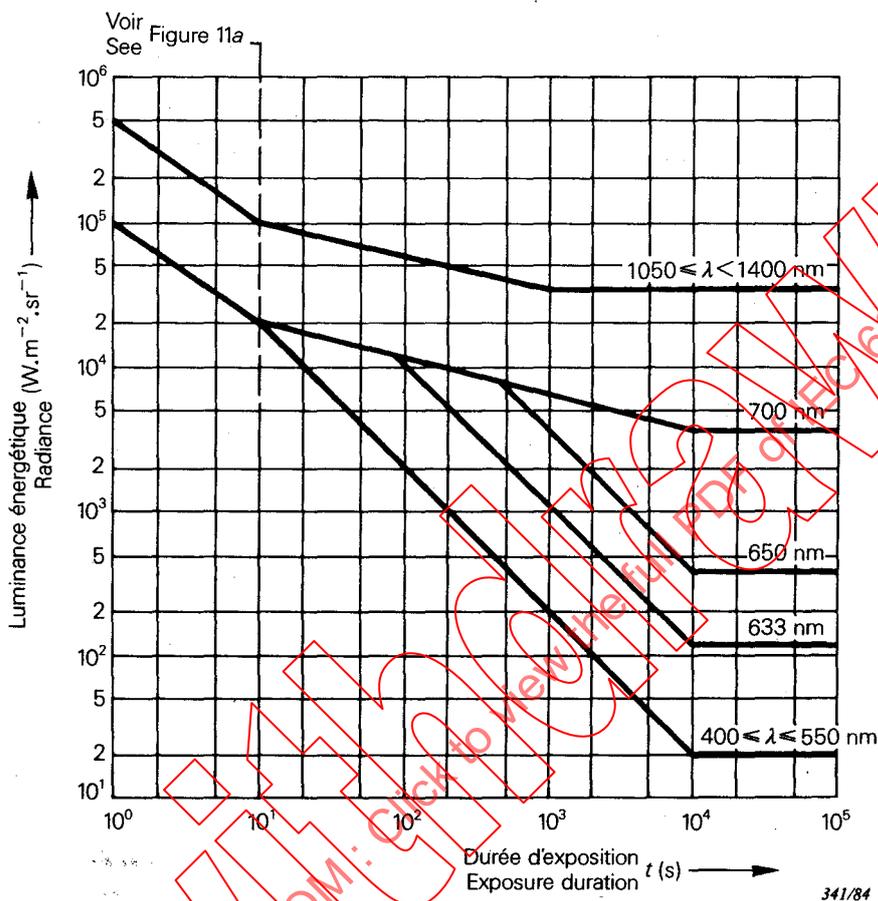


FIG. 11b. — EMP pour l'exposition oculaire directe à partir de sources étendues en fonction de la durée d'exposition à des longueurs d'onde choisies entre 400 nm et 1400 nm.  
MPE for direct ocular exposure from extended sources as a function of exposure duration at selected wavelengths between 400 nm and 1400 nm.

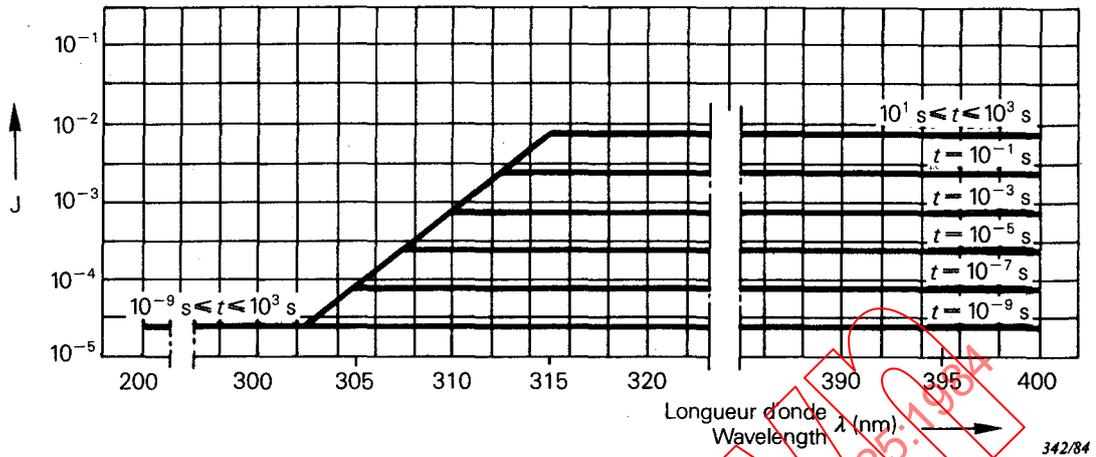


FIG. 12a. — LEA pour des appareils à laser à ultraviolet de classe 1 pour des durées d'émission choisies de  $10^{-9}$  à  $10^3$  s.  
AEL for Class 1 ultra-violet laser products for selected emission durations from  $10^{-9}$  to  $10^3$  s.

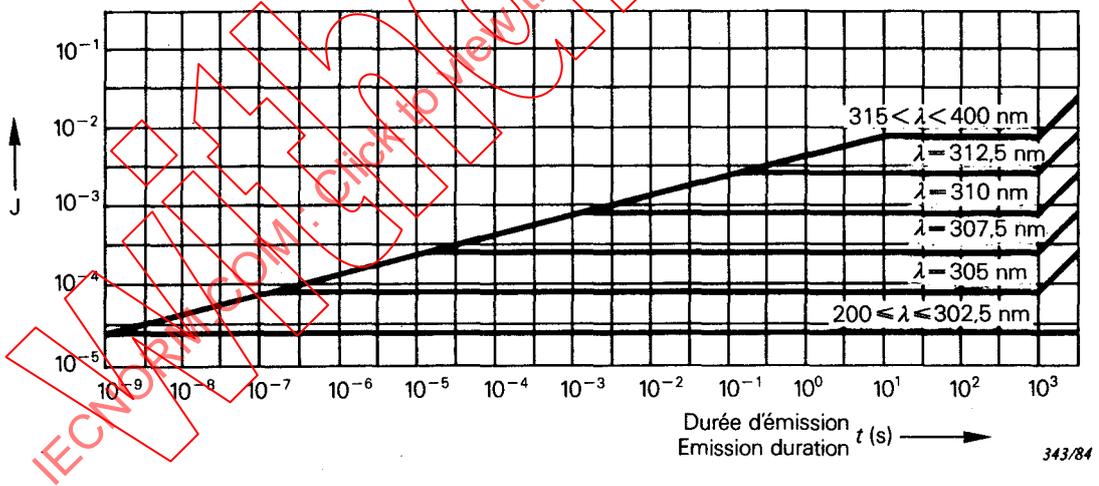


FIG. 12b. — LEA pour des appareils à laser à ultraviolet de classe 1 pour des durées d'émission de  $10^{-9}$  à  $10^3$  s à des longueurs d'onde choisies.  
AEL for Class 1 ultra-violet laser products for emission durations from  $10^{-9}$  to  $10^3$  at selected wavelengths.

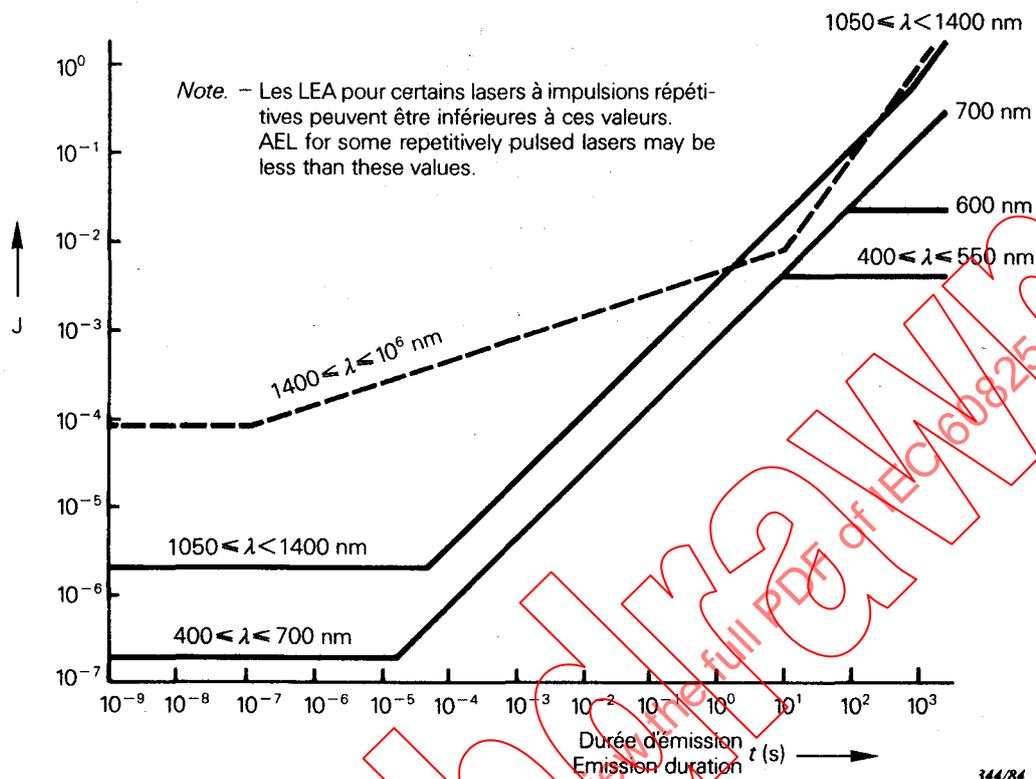
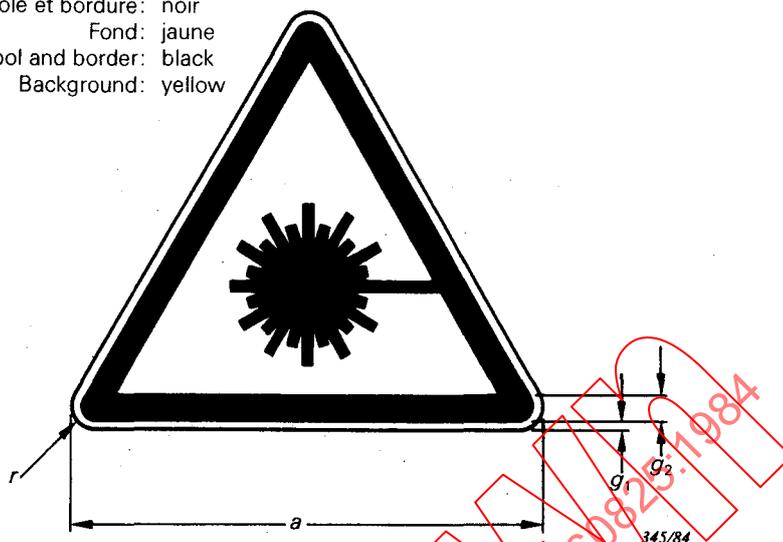


FIG. 13. — LEA pour appareils à laser à émission visible et infrarouge de classe 1.  
AEL for Class 1 visible and infra-red laser products.

Symbole et bordure: noir  
 Fond: jaune  
 Symbol and border: black  
 Background: yellow



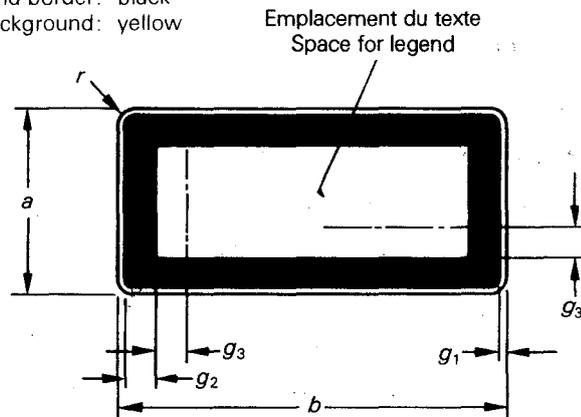
Toutes les dimensions en millimètres

All dimensions in millimetres

$a$	$g_1$	$g_2$	$r$
25	0,5	1,5	1,25
50	1	3	2,5
100	2	6	5
200	4	12	10
400	8	24	20
630	12	36	30

FIG. 14. — Plaque d'avertissement — Symbole de danger.  
 Warning label — Hazard symbol.

Texte et entourage: noir  
 Fond: jaune  
 Legend and border: black  
 Background: yellow



346/84

Toutes les dimensions sont en millimètres

All dimensions in millimetres

$a \times b$	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$r$	Hauteur minimale des lettres Minimum height of lettering
26 × 52	1	4	4	2	Les lettres doivent être d'une taille qui les rend lisibles
52 × 105	1,6	5	5	3,2	
74 × 148	2	6	7,5	4	
100 × 250	2,5	8	12,5	5	
140 × 200	2,5	10	10	5	
140 × 250	2,5	10	12,5	5	Lettering shall be of a size which renders it legible
140 × 400	3	10	20	6	
200 × 250	3	12	12,5	6	
200 × 400	3	12	20	6	
250 × 400	4	15	25	8	

FIG. 15. — Plaque indicatrice.  
 Explanatory label.

## ANNEXE A

## EXEMPLES DE CALCUL

*Symboles utilisés dans les formules de cette annexe*

- $a$  = Diamètre du faisceau laser émergent (m).
- $D_L$  = Diamètre du faisceau laser à la distance  $r$  (m).
- $D_0$  = Diamètre de l'objectif d'un système optique (m).
- $N$  = Fréquence de répétition des impulsions (FRI,  $s^{-1}$  ou Hz).
- $H, E$  = Exposition énergétique ( $H$ ) ou éclairement énergétique ( $E$ ) à la distance  $r$ , mesurée en  $J \cdot m^{-2}$  pour les lasers à impulsions et  $W \cdot m^{-2}$  pour les lasers à émission continue.
- $H_{AV}, E_{AV}$  = Exposition énergétique ( $H$ ) ou éclairement énergétique ( $E$ ) pris en valeur moyenne sur la durée totale de l'émission.
- $H_0, E_0$  = Exposition énergétique ( $H_0$ ) ou éclairement énergétique ( $E_0$ ) du faisceau émergent à la distance zéro (mêmes unités que pour  $H, E$ ).
- $I$  = Intensité du rayonnement ( $W \cdot sr^{-1}$ ).
- $K$  = Grossissement d'un instrument d'optique.
- $L_p$  = Luminance intégrée d'une source étendue ( $J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ).
- $P_0$  = Puissance totale rayonnée (ou flux rayonné) en sortie d'un laser à émission continue, ou puissance rayonnée moyenne d'un laser à impulsions répétitives (W).
- $P_p$  = Puissance rayonnée émise dans une impulsion d'un laser à impulsions (W).
- $Q$  = Energie rayonnée totale émise par un laser à impulsions, mesurée en joules (J).
- $r$  = Distance entre le laser et l'observateur, ou entre le laser et une cible diffusante (m).
- $r_1$  = Distance entre la cible laser et l'observateur (m).
- $T$  = Durée d'exposition totale d'un train d'impulsions (s).
- $t$  = Durée d'une seule impulsion (s).
- $\alpha$  = Diamètre apparent d'une source étendue (rad).
- $\alpha_{min}$  = Diamètre apparent minimal d'une source pour laquelle le critère de source étendue est applicable (rad).
- $\mu$  = Coefficient d'atténuation atmosphérique ( $m^{-1}$ ) à une longueur d'onde particulière.
- $\Phi$  = Divergence du faisceau émergent (rad).

## APPENDIX A

## EXAMPLES OF CALCULATIONS

*Symbols used in the formulas of this appendix*

- $a$  = Diameter of emergent laser beam (m).
- $D_L$  = Diameter of laser beam at range  $r$  (m).
- $D_o$  = Diameter of objective of an optical system (m).
- $N$  = Pulse repetition frequency (PRF,  $s^{-1}$  or Hz).
- $H, E$  = Radiant exposure ( $H$ ) or irradiance ( $E$ ) at range  $r$ , measured in  $J \cdot m^{-2}$  for pulsed lasers and  $W \cdot m^{-2}$  for CW lasers.
- $H_{AV}, E_{AV}$  = Radiant exposure ( $H$ ) or irradiance ( $E$ ) averaged over the total emission duration.
- $H_0, E_0$  = Emergent beam radiant exposure ( $H_0$ ) or irradiance ( $E_0$ ) at zero range (units as for  $H, E$ ).
- $I$  = Radiant intensity ( $W \cdot sr^{-1}$ ).
- $K$  = Optical instrument gain factor.
- $L_p$  = Integrated radiance of an extended source ( $J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ).
- $P_o$  = Total radiant power (or radiant flux) output of a CW laser, or average radiant power of a repetitively-pulsed laser (W).
- $P_p$  = Radiant power output within a pulse of a pulsed laser (W).
- $Q$  = Total radiant energy output of a pulsed laser, measured in joules (J).
- $r$  = Range from the laser to the viewer or to a diffuse target (m).
- $r_1$  = Range from the laser target to the viewer (m).
- $T$  = Total exposure duration of a train of pulses (s).
- $t$  = Duration of a single pulse (s).
- $\alpha$  = Viewing angle subtended by an extended source (rad).
- $\alpha_{min}$  = Minimum angle subtended by a source for which the extended source criterion applies (rad).
- $\mu$  = Atmospheric attenuation coefficient ( $m^{-1}$ ) at a particular wavelength.
- $\Phi$  = Emergent beam divergence (rad).

SECTION A — EXPOSITION MAXIMALE PERMISE (EMP) —  
VISION DANS LE FAISCEAU

Trouver l'EMP pour la vision dans le faisceau dans les exemples suivants :

*Exemple A.1:*

Un laser hélium-cadmium,  $\lambda = 325$  nm, a une durée d'émission de 0,1 s. A partir du tableau VI, on trouve comme EMP  $C_1$  J. m<sup>-2</sup> pour des durées d'exposition comprises entre 10<sup>-9</sup> s et 10 s.

$C_1$  peut être calculé à partir de la formule donnée dans les notes sur les tableaux VI à VIII ou peut être trouvé par la figure 1, page 88:  $C_1 = 3,15 \times 10^3$ .

$$\text{EMP} = 3,15 \times 10^3 \text{ J. m}^{-2}$$

ou

$$3,15 \times 10^4 \text{ W. m}^{-2}$$

*Exemple A.2:*

Un laser à impulsions à rubis,  $\lambda = 694$  nm, a une durée d'exposition de 10<sup>-3</sup> s. A partir du tableau VI (ou de la figure 10a, page 92) on trouve comme EMP  $18 \times t^{0,75}$  J. m<sup>-2</sup>.

$$\begin{aligned} \text{EMP} &= 18 \times (10^{-3})^{0,75} \text{ J. m}^{-2} \\ &= 0,1 \text{ J. m}^{-2} \end{aligned}$$

*Exemple A.3:*

Un laser à l'arseniure de gallium,  $\lambda = 905$  nm, a une largeur d'impulsion de 100 ns. Le tableau VI (ou la figure 10a) donne pour EMP  $5 \times 10^{-3} \times C_4$  J. m<sup>-2</sup>.  $C_4$  peut être trouvé par la figure 6, page 89, ou en appliquant la formule donnée dans les notes sur les tableaux VI à VIII.

$$\begin{aligned} C_4 &= 10^{(\lambda - 700)/500} = 2,5 \\ \text{EMP} &= 2,5 \times 5 \times 10^{-3} \text{ J. m}^{-2} = 12,5 \times 10^{-3} \text{ J. m}^{-2} \end{aligned}$$

SECTION B — EXPOSITION MAXIMALE PERMISE (EMP) —  
RÉFLEXIONS DIFFUSES ET SOURCES ÉTENDUES

La vision d'une source étendue se rapporte normalement à la vision d'un rayonnement laser après sa réflexion sur un écran diffusant dans des conditions telles que l'image formée sur la rétine soit plus grande qu'une certaine valeur minimale. Le critère de vision est exprimé en fonction du diamètre apparent de la source laser ou de l'image diffusante à partir de l'œil de l'observateur. Le diamètre apparent limite  $\alpha_{\min}$  est fonction de la durée d'exposition (voir figure 8, page 90) et il est utilisé pour décider si le critère de vision d'une source étendue a été atteint. Il ne représente pas une divergence de faisceau et il n'est pas utilisé pour le calcul d'une luminance énergétique ou d'une luminance intégrée.

$$\begin{aligned} \alpha_{\min} &= 0,00025 \times t^{-0,17} \text{ rad pour } t = 10^{-9} \text{ s à } 1,8 \times 10^{-5} \text{ s} \\ &= 0,015 \times t^{0,21} \text{ rad pour } t = 1,8 \times 10^{-5} \text{ s à } 10 \text{ s} \end{aligned}$$

avec une valeur maximale de 0,024 radian.

*Note.* — Pour 1050 nm <  $\lambda$  < 1400 nm et pour  $t < 5 \times 10^{-5}$  s,  $\alpha_{\min}$  est multiplié par un facteur 1,4.

## SECTION A — MAXIMUM PERMISSIBLE EXPOSURE (MPE) — INTRABEAM VIEWING

Find the MPE for intrabeam viewing in the following examples:

### Example A.1:

A helium-cadmium laser  $\lambda = 325$  nm with an emission duration of 0.1 s. From Table VI, the MPE is given by  $C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  for exposure times of between  $10^{-9}$  s and 10 s.

$C_1$  can be calculated from the formula given in the notes to Tables VI to VIII or can be found from Figure 1, page 88:  $C_1 = 3.15 \times 10^3$ .

$$\begin{aligned} \text{MPE} &= 3.15 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \\ \text{or} \\ &3.15 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

### Example A.2:

A pulsed ruby laser  $\lambda = 694$  nm with an exposure duration of  $10^{-3}$  s. From Table VI (or Figure 10a, page 92) the MPE is given as  $18 \times t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$

$$\begin{aligned} \text{MPE} &= 18 \times (10^{-3})^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 0.1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

### Example A.3:

A gallium-arsenide laser  $\lambda = 905$  nm with a pulse width of 100 ns. Table VI (or Figure 10a) gives the MPE as  $5 \times 10^{-3} \times C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ .  $C_4$  can be found either from Figure 6, page 89 or by applying the formula given in the notes to Tables VI to VIII.

$$\begin{aligned} C_4 &= 10^{(\lambda - 700)/500} = 2.5 \\ \text{MPE} &= 2.5 \times 5 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 12.5 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

## SECTION B — MAXIMUM PERMISSIBLE EXPOSURES (MPE) — DIFFUSE REFLECTIONS AND EXTENDED SOURCES

Extended source viewing normally refers to viewing laser radiation after reflection from a diffusing screen under conditions where the image formed on the retina is greater than a certain minimum value. The viewing criterion is expressed in terms of the angle subtended at the observer's eye by the laser source or diffuse image. The limiting angular subtense  $\alpha_{\min}$  is a function of exposure duration (see Figure 8, page 90) and is used to decide whether the extended source viewing criterion has been met — it does not represent a beam divergence and is not used in the calculation of radiance or integrated radiance.

$$\begin{aligned} \alpha_{\min} &= 0.00025 \times t^{-0.17} \text{ rad for } t = 10^{-9} \text{ s to } 1.8 \times 10^{-5} \text{ s} \\ &= 0.015 \times t^{0.21} \text{ rad for } t = 1.8 \times 10^{-5} \text{ s to } 10 \text{ s} \end{aligned}$$

with a maximum value of 0.024 radians.

*Note.* — For  $1050 \text{ nm} < \lambda < 1400 \text{ nm}$  and for  $t < 5 \times 10^{-5} \text{ s}$ ,  $\alpha_{\min}$  is increased by a factor of 1.4.

**Exemple B.1:**

Le rayonnement d'un laser déclenché à YAG au néodyme ( $\lambda = 1059 \text{ nm}$ ,  $t = 10^{-8} \text{ s}$ ) est élargi pour former un faisceau de 2 cm de diamètre avant d'être réfléchi par un diffuseur parfait. Jusqu'à quelle distance du diffuseur peut-on appliquer les EMP relatives à une source étendue?

A partir de la formule donnée plus haut (ou à partir de la figure 8, page 90)  $\alpha_{\min} = 0,0080 \text{ rad}$

$$\alpha = \frac{D_L}{r_1}$$

$$\text{d'où } r_1 = \frac{2 \times 10^{-2}}{8,0 \times 10^{-3}} = 2,5 \text{ m.}$$

Jusqu'à cette distance, l'EMP est donnée par le tableau VII (ou la figure 11a, page 94); sa valeur est  $5 \times 10^5 \times t^{0,33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ .

$$\text{EMP} = 1,15 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}.$$

**Exemple B.2:**

Trouver l'énergie rayonnante maximale émise par le laser de l'exemple B.1 qui permette une vision sans danger de l'émission par l'intermédiaire du diffuseur parfait.

La luminance intégrée  $L_p$  d'un diffuseur parfait (c'est-à-dire lambertien), indépendante de la direction d'observation, est exprimée en fonction de l'exposition énergétique incidente par la formule:

$$H_0 = \pi L_p$$

Dans l'exemple précédent, l'EMP pour une observation sans danger du rayonnement diffusé avait pour valeur  $1,15 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ . Le rayonnement arrive sur une surface de  $\frac{\pi}{4} (2 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2$ , ce qui autorise une émission du laser de:

$$Q = \pi \times 1,15 \times 10^3 \times \frac{\pi}{4} \times 4 \times 10^{-4} \text{ J} = 1,13 \text{ J}$$

**Exemple B.3:**

Calculer la distance minimale pour la vision sans danger d'un écran parfaitement diffusant si l'émission du laser de l'exemple précédent est focalisée sur cet écran.

L'énergie rayonnante émise est de 1 joule, rayonnant dans un hémisphère. Puisque c'est un point source, le critère de vision d'une source étendue ne peut pas être appliqué.

A partir du tableau VI, l'EMP pour vision dans le faisceau a pour valeur  $5 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ .

A une distance  $r_1$ , d'une source lambertienne, l'exposition énergétique est donnée par:

$$H = \frac{Q \cos \theta}{\pi r_1^2} : \text{à l'incidence normale } \theta = 0^\circ \text{ d'où } H = \frac{Q}{\pi r_1^2}$$

$$5 \times 10^{-2} = \frac{1,0}{\pi r_1^2} \text{ ou } r_1 = 2,52 \text{ m}$$

*Example B.1:*

The radiation from a Q-switched Nd-YAG laser ( $\lambda = 1059 \text{ nm}$ ,  $t = 10^{-8} \text{ s}$ ) is expanded to form a beam 2 cm in diameter before being reflected from a perfect diffuser. Up to what distance from the diffuser can the extended source MPE be applied?

From the formula above (or from Figure 8, page 90)  $\alpha_{\min} = 0.0080 \text{ rad}$

$$\alpha = \frac{D_L}{r_1}$$

$$\text{Hence } r_1 = \frac{2 \times 10^{-2}}{8.0 \times 10^{-3}} = 2.5 \text{ m.}$$

Up to this range, the MPE is given by Table VII (or Figure 11a, page 94) as  $5 \times 10^5 \times t^{0.33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ .

$$\text{MPE} = 1.15 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}.$$

*Example B.2:*

Find the maximum radiant energy output from the laser in example B.1 that will permit non-hazardous viewing of the output via the perfect diffuser.

The integrated radiance  $L_p$ , from a perfect (i.e. Lambertian) diffuser independent of the viewing angle, is related to the incident radiant exposure by the formula:

$$H_0 = \pi L_p$$

In the previous example, the MPE for non-hazardous diffuse viewing was found to be  $1.15 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ . The radiation is spread over an area of  $\frac{\pi}{4} (2 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2$ , which allows the output from the laser to be:

$$Q = \pi \times 1.15 \times 10^3 \times \frac{\pi}{4} \times 4 \times 10^{-4} \text{ J} = 1.13 \text{ J}$$

*Example B.3:*

Calculate the minimum safe viewing distance normal to a perfect diffusing screen if the output from the above laser is focused onto the screen.

The radiant energy output is 1 joule radiating into a hemisphere. Since this is a point source the extended viewing criterion cannot be applied.

From Table VI, the intrabeam MPE is found to be  $5 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ .

At a distance  $r_1$  from a Lambertian source, the radiant exposure is given by:

$$H = \frac{Q \cos \theta}{\pi r_1^2} : \text{at normal incidence } \theta = 0^\circ \text{ and hence } H = \frac{Q}{\pi r_1^2}$$

$$5 \times 10^{-2} = \frac{1.0}{\pi r_1^2} \text{ or } r_1 = 2.52 \text{ m}$$

SECTION C — EXPOSITIONS MAXIMALES PERMISES (EMP) —  
SYSTÈMES À IMPULSIONS RÉPÉTITIVES

Les règles applicables aux systèmes à impulsions répétitives (ou aux expositions répétées à partir d'un système laser à balayage) sont exposées dans le paragraphe 13.3.

*Exemple C.1:*

Déterminer l'EMP pour la vision dans le faisceau applicable au rayonnement d'un laser à argon ( $\lambda = 488 \text{ nm}$ ) fonctionnant à une FRI de 1 MHz avec une largeur d'impulsion de  $10^{-8} \text{ s}$ .

Comme le laser émet dans la partie visible du spectre, la durée d'exposition sera limitée par le réflexe palpébral à 0,25 s.

a) Le tableau VI donne pour l'EMP relatif à une impulsion unique,  $5 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ . Comme la largeur d'impulsion est inférieure à  $10^{-5} \text{ s}$ , le facteur de correction de FRI  $C_5$  peut intervenir (figure 7, page 90)  $C_5 = 0,06$  ce qui donne une EMP pour une impulsion unique de  $3 \times 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ .

b) A partir du tableau VI, l'EMP pour une exposition de 0,25 s est  $18 \times t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ .

$$H = 6,36 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$E_{AV} = 25,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = \text{éclairage énergétique moyen limite.}$$

Cet éclairage énergétique moyen limite peut être rattaché à l'éclairage énergétique par impulsion:

$$E_{AV} = E \times t \times \text{FRI}$$

$$E = \frac{25,5}{10^{-8} \times 10^6} = 2,55 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

ou

$$H = 2,55 \times 10^3 \times 10^{-8} = 2,55 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Cette valeur de l'exposition énergétique par impulsion, basée sur l'éclairage énergétique moyen limite, est plus restrictive que l'EMP trouvée au point a), et donc l'EMP pour ce système est  $2,55 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  par impulsion.

*Exemple C.2:*

Déterminer l'EMP pour vision dans le faisceau pour un laser à YAG au néodyme ( $\lambda = 1060 \text{ nm}$ ) ayant une FRI de 20 Hz et une largeur d'impulsion de 1 ms.

Comme ce laser n'émet pas dans la partie visible du spectre, la protection n'est pas assurée par le réflexe palpébral.

Une estimation raisonnable de la probabilité de durée d'exposition dangereuse peut être fixée à 10 s:

a) L'éclairage énergétique moyen limite pour une exposition de 10 s est de  $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (voir figure 10a, page 92).

b) Comme la largeur d'impulsion est supérieure à  $10^{-5} \text{ s}$ , le facteur  $C_5$  de correction de FRI ne peut être utilisé, et l'EMP de l'impulsion unique doit être calculée à partir de la formule donnée au paragraphe 13.3:

$$\text{c'est-à-dire } EMP_{(\text{UNIQUE})} = EMP_{(nt)} / n$$

où:

$n$  est le nombre d'impulsions du train

$t$  est la largeur d'une impulsion individuelle

$EMP_{(nt)}$  est l'EMP applicable à une impulsion de largeur  $nt \text{ s}$ .

Nombre d'impulsions en 10 s =  $10 \times 20 = 200$

EMP pour une impulsion de durée 0,2 s =  $27 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  (à partir de la figure 10a.)

$$EMP_{(\text{UNIQUE})} = \frac{27}{200} = 0,135 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

SECTION C — MAXIMUM PERMISSIBLE EXPOSURES (MPE) —  
REPETITIVELY-PULSED SYSTEMS

The rules applying to the repetitively-pulsed systems (or repeated exposures from scanning laser systems) are set out in Sub-clause 13.3.

*Example C.1:*

Determine the intrabeam MPE to be applied to the radiation from an argon laser ( $\lambda = 488 \text{ nm}$ ) operating at 1 MHz PRE with a pulse width of  $10^{-8} \text{ s}$ .

As the laser is operating in the visible part of the spectrum, the exposure duration will be limited by the blink reflex to 0.25 s:

- a) The single-pulse MPE is found in Table VI to be  $5 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ . As the pulse width is less than  $10^{-5} \text{ s}$ , the PRF correction factor  $C_5$  can be applied (Figure 7, page 90)  $C_5 = 0.06$  giving a single pulse MPE of  $3 \times 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ .
- b) From Table VI, the MPE for 0.25 s exposure is  $18 \times t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ .

$$H = 6.36 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$E_{AV} = 25.5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = \text{average irradiance limit.}$$

This average irradiance limit can be related to the irradiance per pulse:

$$E_{AV} = E \times t \times \text{PRF}$$

$$E = \frac{25.5}{10^{-8} \times 10^6} = 2.55 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

or

$$H = 2.55 \times 10^3 \times 10^{-8} = 2.55 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

This value of the radiant exposure per pulse based on the average irradiance limit is more restrictive than the MPE found in Item a), and therefore the MPE for this system is  $2.55 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  per pulse.

*Example C.2:*

Determine the intrabeam MPE for a Nd-YAG laser ( $\lambda = 1060 \text{ nm}$ ) having a PRF of 20 Hz and a pulse width of 1 ms.

As this laser does not operate in the visible part of the spectrum, protection is not afforded by the blink reflex.

A reasonable estimate of a hazardous chance exposure time can be taken as 10 s:

- a) The average irradiance limit for a 10 s exposure is found to be  $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (see Figure 10a, page 92).
- b) As the pulse width is greater than  $10^{-5} \text{ s}$ , the PRF correction factor  $C_5$  cannot be used, and a single pulse MPE must be calculated from the formula given in Sub-clause 13.3.:

$$\text{i.e. } MPE_{(\text{SINGLE})} = MPE_{(nt)}/n$$

where:

$n$  is the number of pulses in the train

$t$  is the individual pulse width

$MPE_{(nt)}$  is the MPE applicable to a pulse of width  $nt$  s.

Number of pulses in 10 s =  $10 \times 20 = 200$

MPE for a pulse of 0.2 s duration =  $27 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  (from Figure 10a.)

$$MPE_{(\text{SINGLE})} = \frac{27}{200} = 0.135 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

A partir du point a) l'éclairement énergétique moyen limite est  $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$E = \frac{50}{10^{-3} \times 20} = 2,5 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

ou

$$H = 2,5 \times 10^3 \times 10^{-3} = 2,5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Ceci est supérieur à l'EMP d'une impulsion unique calculée au point b), et donc l'EMP applicable à chaque impulsion est  $0,135 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ .

### SECTION D — DISTANCE NOMINALE DE RISQUE OCULAIRE (DNRO)

La DNRO représente la distance à laquelle, dans des conditions idéales, l'éclairement énergétique ou l'exposition énergétique tombe en dessous des EMP appropriées.

L'éclairement énergétique à une distance  $r$  d'une source laser est donné par:

$$E = \frac{4 P_0 e^{-\mu r}}{\pi (a + r\Phi)^2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (1)$$

Note. —  $a$  et  $\Phi$  sont mesurés aux points à  $1/e$  du profil du faisceau, quand le profil du faisceau est réputé être gaussien. En pratique seuls les lasers à gaz donnent des faisceaux à profils gaussiens, beaucoup de lasers à solides donnant des structures de faisceaux multimodes non réguliers. Dans ce dernier cas, il conviendrait d'employer la formule suivante:

$$E = \frac{I \cdot e^{-\mu r}}{r^2} \quad (2)$$

où  $I$  = intensité rayonnante  $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$  (voir paragraphe 8.2 sur les mesures).

Si  $I$  n'est pas connu et ne peut être mesuré, la valeur de  $P$  de l'équation (1) précédente sera majorée par un facteur 2,5 pour les systèmes laser dont on sait qu'ils ont une structure de faisceau multimode.

Le terme  $e^{-\mu r}$  représente les pertes dues à l'atténuation atmosphérique et peut être négligé dans beaucoup de cas, en simplifiant les équations (1) et (2) en:

$$E = \frac{4P_0}{\pi (a + r\Phi)^2} \text{ ou } \frac{I}{r^2}$$

où  
 $E$  = EMP  
 $r$  = DNRO

$$\text{DNRO} = \frac{\sqrt{4P_0 / \pi \text{EMP}} - a}{\Phi} \quad (3)$$

$$\text{ou DNRO} = \sqrt{I / \text{EMP}} \quad (4)$$

Si les effets de l'atténuation atmosphérique doivent être pris en compte, une solution simple des équations (1) ou (2) en fonction de  $r$  ne peut être trouvée. Toutefois, l'approche suivante conduira à un résultat suffisamment exact du point de vue de la sécurité:

$$r_\mu = 0,5 r_c (1 + e^{-\mu r_c}) \quad (5)$$

où:  
 $r_\mu$  est la distance tenant compte de l'atténuation atmosphérique, et  
 $r_c$  est la distance calculée à partir des équations (3) ou (4).

From Item *a*) the average irradiance limit is  $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$E = \frac{50}{10^{-3} \times 20} = 2.5 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

or

$$H = 2.5 \times 10^3 \times 10^{-3} = 2.5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

This is greater than the single pulse MPE calculated in Item *b*) and therefore the MPE applicable to each pulse is  $0.135 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ .

## SECTION D — NOMINAL OCULAR HAZARD DISTANCE (NOHD)

The NOHD represents that range at which under ideal conditions, the irradiance or radiant exposure falls below the appropriate MPE.

The irradiance at a range  $r$  from a laser source is given by:

$$E = \frac{4 P_0 e^{-\mu r}}{\pi (a + r\Phi)^2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (1)$$

*Note.* —  $a$  and  $\Phi$  are measured at the  $1/e$  points of the beam profile, when the beam profile is assumed to be Gaussian. In practice only gas lasers produce beams having Gaussian profiles, most solid state lasers having distinctly non-regular multi-mode beam structures, and in this latter case the following formula should be used:

$$E = \frac{I \cdot e^{-\mu r}}{r^2} \quad (2)$$

where  $I$  = radiant intensity  $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$  (see Sub-clause 8.2 on measurements).

If  $I$  is not known and cannot be measured, the value for  $P$  in equation (1) above should be increased by 2.5 for laser systems known to have a multi-mode beam structure.

The term  $e^{-\mu r}$  accounts for losses due to atmospheric attenuation and may be neglected for most purposes, simplifying equations (1) and (2) to:

$$E = \frac{4P_0}{\pi (a + r\Phi)^2} \text{ or } \frac{I}{r^2}$$

where:  
 $E$  = MPE  
 $r$  = NOHD

$$\text{NOHD} = \frac{\sqrt{4P_0/\pi \text{MPE}} - a}{\Phi} \quad (3)$$

$$\text{or NOHD} = \sqrt{I/\text{MPE}} \quad (4)$$

If the effects of atmospheric attenuation are to be included, a simple solution to equation (1) or (2) in terms of  $r$ , cannot be found. However, the following approach will lead to a slightly oversafe result:

$$r_\mu = 0.5 r_c (1 + e^{-\mu r_c}) \quad (5)$$

where:  
 $r_\mu$  is the range including atmospheric attenuation; and  
 $r_c$  is the range calculated from equation (3) or (4).

Une évaluation suffisamment bonne pour  $\mu$ , le coefficient d'atténuation atmosphérique, peut être obtenue à partir de la formule suivante :

$$\mu = 10^{-3} \times \frac{3,91}{V} \times \left( \frac{0,55}{\lambda} \right)^A \text{ m}^{-1} \quad (6)$$

où :

$A = 0,585 V^{0,33}$

$V$  = distance de visibilité en km

$\lambda$  = longueur d'onde en  $\mu\text{m}$  ( $0,4 < \lambda < 2,0$ )

### Emploi d'instruments d'optique

Quand des instruments d'optique (téléscopes, jumelles, etc.) sont utilisés pour observer une source de rayonnement laser, il est nécessaire de majorer la DNRO pour tenir compte de l'accroissement de flux entrant dans l'œil.

L'accroissement du niveau de rayonnement pénétrant dans l'œil dépend du facteur :

$$K = \frac{\text{diamètre de l'objectif ou du diaphragme de l'instrument}}{\text{diamètre théorique de la pupille}} = \frac{D_o}{7 \times 10^{-3}}$$

D'où DNRO majorée = DNRO de base  $\times K + \frac{a(K-1)}{\phi}$  dans le cas le plus défavorable où le diamètre du faisceau est supérieur à celui de l'objectif, et quand le diamètre de la pupille de sortie est inférieur à celui de la pupille de l'œil.

Sauf dans les cas où des filtres spéciaux d'atténuation laser sont employés, aucune correction ne devrait être faite pour tenir compte des pertes de transmission dans les instruments d'observation, compte tenu de ce que beaucoup d'instruments ont une transmission élevée (0,8) s'étendant correctement dans la partie infrarouge du spectre au-dessus de 2000 nm.

*Note.* — L'émission des lasers des classes 1, 2 et 3 peut être observée par l'intermédiaire d'un écran diffusant ou d'une cible non réfléchissante avec des optiques grossissantes, sous réserve que les critères de vision à l'œil nu des sources étendues soient satisfaits et que le rayonnement soit compris dans la bande de 400 nm à 1400 nm.

### Exemple D.1 :

Un laser a une puissance d'émission de 4 W, une divergence du faisceau de 0,7 mrad et un diamètre de sortie du faisceau de 1 mm. Si l'EMP appropriée est  $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , calculer la DNRO, dans le cas d'une atténuation atmosphérique négligeable.

L'application de l'équation (3) donne :

$$\text{DNRO} = \frac{\sqrt{(4 \times 4) / 10 \pi} - 0,001}{0,7 \times 10^{-3}} = \frac{0,7136 - 0,001}{0,7 \times 10^{-3}} = 1,018 \text{ km}$$

### Exemple D.2 :

Un objectif afocal est adapté au laser de l'exemple précédent. Il réduit la divergence du faisceau à 0,1 mrad et augmente le diamètre du faisceau de sortie jusqu'à 7 mm.

Calculer la nouvelle DNRO :

$$\text{DNRO} = \frac{\sqrt{(4 \times 4) / 10 \pi} - 7 \times 10^{-3}}{0,1 \times 10^{-3}} = 7,07 \text{ km}$$

On peut noter l'importance de la divergence du faisceau dans le calcul de la DNRO. Il faut aussi noter que, dans cet exemple, le diamètre  $a$  de sortie du faisceau peut être négligé.