

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60825-1

Edition 1.1

1998-01

Edition 1:1993 consolidée par l'amendement 1:1997
Edition 1:1993 consolidated with amendment 1:1997

PUBLICATION GROUPEE DE SÉCURITÉ
GROUP SAFETY PUBLICATION

Sécurité des appareils à laser –

**Partie 1:
Classification des matériels, prescriptions
et guide de l'utilisateur**

Safety of laser products –

**Part 1:
Equipment classification, requirements
and user's guide**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60825-1:1993+A1:1997

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Accès en ligne)*

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (IEV).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line access)*

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60825-1

Edition 1.1

1998-01

Edition 1:1993 consolidée par l'amendement 1:1997
Edition 1:1993 consolidated with amendment 1:1997

**PUBLICATION GROUPEE DE SÉCURITÉ
GROUP SAFETY PUBLICATION**

Sécurité des appareils à laser –

**Partie 1:
Classification des matériels, prescriptions
et guide de l'utilisateur**

Safety of laser products –

**Part 1:
Equipment classification, requirements
and user's guide**

© IEC 1998 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	8
SECTION UN – GÉNÉRALITÉS	
Articles	
1 Domaine d'application et objet	10
1.1 Domaine d'application.....	10
1.2 Objet.....	12
2 Références normatives	12
3 Définitions	14
SECTION DEUX – PRESCRIPTIONS DE FABRICATION	
4 Spécifications techniques.....	28
4.1 Remarques générales.....	28
4.2 Capot de protection	28
4.3 Verrouillages de sécurité	30
4.4 Connecteur de verrouillage à distance.....	32
4.5 Commande à clé.....	32
4.6 Avertissement d'émission de rayonnement laser	32
4.7 Arrêt de faisceau ou atténuateur.....	32
4.8 Commandes.....	32
4.9 Optiques d'observation	32
4.10 Sécurité de balayage	34
4.11 Aides à l'alignement.....	34
4.12 Accès «piétonnier»	34
4.13 Considérations liées à l'environnement.....	34
4.14 Protection contre les autres risques	34
5 Etiquetage.....	36
5.1 Généralités.....	36
5.2 Classe 1	36
5.3 Classe 2	36
5.4 Classe 3A	36
5.5 Classe 3B	38
5.6 Classe 4	38
5.7 Plaque indicatrice d'ouverture.....	38
5.8 Information sur le rayonnement émis et les normes.....	38
5.9 Plaques indicatrices pour les panneaux d'accès.....	38
5.10 Avertissement pour rayonnement laser invisible	40
5.11 Avertissement pour rayonnement laser visible	40
5.12 Avertissement pour le rayonnement des DEL	40

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9

SECTION ONE – GENERAL

Clause

1	Scope and object	11
1.1	Scope	11
1.2	Object	13
2	Normative references	13
3	Definitions	15

SECTION TWO – MANUFACTURING REQUIREMENTS

4	Engineering specifications	29
4.1	General remarks	29
4.2	Protective housing	29
4.3	Access panels and safety interlocks	31
4.4	Remote interlock connector	33
4.5	Key control	33
4.6	Laser radiation emission warning	33
4.7	Beam stop or attenuator	33
4.8	Controls	33
4.9	Viewing optics	33
4.10	Scanning safeguard	35
4.11	Alignment aids	35
4.12	"Walk-in" access	35
4.13	Environmental conditions	35
4.14	Protection against other hazards	35
5	Labelling	37
5.1	General	37
5.2	Class 1	37
5.3	Class 2	37
5.4	Class 3A	37
5.5	Class 3B	39
5.6	Class 4	39
5.7	Aperture label	39
5.8	Radiation output and standards information	39
5.9	Labels for access panels	39
5.10	Warning for invisible laser radiation	41
5.11	Warning for visible laser radiation	41
5.12	Warning for LED radiation	41

Articles	Pages
6 Autres prescriptions relatives aux renseignements à fournir	40
6.1 Renseignements pour l'utilisateur	40
6.2 Renseignements pour l'achat et l'entretien	42
7 Prescriptions additionnelles pour appareils à laser spécifiques	42
7.1 Appareils à laser médicaux	42
7.2 Système de transmission laser par fibre optique	44
8 Essais	44
8.1 Généralités	44
8.2 Mesure des niveaux de rayonnement laser en vue de déterminer la classification	44
9 Classification	48
9.1 Introduction	48
9.2 Définitions des classes laser	48
9.3 Procédure de classification	50
9.4 Lasers modulés ou à impulsions répétitives	52
SECTION TROIS – GUIDE DE L'UTILISATEUR	
10 Mesures de sécurité	64
10.1 Généralités	64
10.2 Emploi du connecteur de verrouillage à distance	64
10.3 Commande à clé	64
10.4 Arrêt de faisceau ou atténuateur	66
10.5 Panneaux avertisseurs	66
10.6 Trajet des faisceaux	66
10.7 Réflexions spéculaires	66
10.8 Protection des yeux	66
10.9 Vêtements de protection	70
10.10 Formation	70
10.11 Surveillance médicale	70
11 Risques pouvant résulter du fonctionnement des lasers	70
11.1 Contamination de l'atmosphère	70
11.2 Dangers du rayonnement connexe	72
11.3 Risques électriques	72
11.4 Agents cryogènes	72
11.5 Traitement des matériaux	72
11.6 Autres risques	72
12 Procédures de contrôle des risques	72
12.1 Généralités	72
12.2 Evaluation du risque pour les lasers des classes 3B et 4 utilisés à l'extérieur	74
12.3 Protection individuelle	74
12.4 Démonstrations, affichages et spectacles utilisant des lasers	74

Clause	Page
6 Other informational requirements	41
6.1 Information for the user	41
6.2 Purchasing and servicing information	43
7 Additional requirements for specific laser products	43
7.1 Medical laser products	43
7.2 Laser fibre optic transmission system	45
8 Tests	45
8.1 General	45
8.2 Measurements of laser radiation for determining classification	45
9 Classification	49
9.1 Introduction	49
9.2 Description of laser classes	49
9.3 Classification procedures	51
9.4 Repetitively pulsed or modulated lasers	53

SECTION THREE – USER'S GUIDE

10 Safety precautions	65
10.1 General	65
10.2 Use of remote interlock connector	65
10.3 Key control	65
10.4 Beam stop or attenuator	67
10.5 Warning signs	67
10.6 Beam paths	67
10.7 Specular reflections	67
10.8 Eye protection	67
10.9 Protective clothing	71
10.10 Training	71
10.11 Medical supervision	71
11 Hazards incidental to laser operation	71
11.1 Atmospheric contamination	71
11.2 Collateral radiation hazards	73
11.3 Electrical hazards	73
11.4 Cryogenic coolants	73
11.5 Materials processing	73
11.6 Other hazards	73
12 Procedures for hazard control	73
12.1 General	73
12.2 Hazard evaluation for Class 3B and Class 4 lasers used outdoors	75
12.3 Personal protection	75
12.4 Laser demonstrations, displays and exhibitions	75

Articles	Pages
12.5 Installations des lasers de laboratoire et d'atelier	76
12.6 Installations des lasers de chantier et de construction.....	78
13 Expositions maximales permises.....	80
13.1 Remarques générales.....	80
13.2 Diaphragme limite.....	82
13.3 Lasers modulés ou à impulsions répétitives.....	82
13.4 Conditions de mesure	84
13.5 Sources laser étendues	84
 Annexes	
A Exemples de calculs	118
B Considérations médicales	180
C Bibliographie.....	194
D Tableaux récapitulatifs.....	196
E Laser de forte puissance, considérations particulières pour les installations de traitement des matériaux par laser	202
F Publications CEI complémentaires	208

IECNORM.COM

Click to view the full PDF of IEC 60825-1:1993+A1:1997

Without

Clause	Page
12.5 Laboratory and workshop laser installations	77
12.6 Outdoor and construction laser installations	79
13 Maximum permissible exposures.....	81
13.1 General remarks	81
13.2 Limiting apertures	83
13.3 Repetitively pulsed or modulated lasers	83
13.4 Measurement conditions	85
13.5 Extended source lasers	85
 Annexes	
A Examples of calculations.....	119
B Medical considerations	181
C Bibliography.....	195
D Summary tables.....	197
E High power laser considerations particularly appropriate to materials processing laser products	203
F Related IEC standards	209

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SÉCURITÉ DES APPAREILS À LASER –

Partie 1: Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques, représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60825-1 a été établie par le comité d'études 76 de la CEI: Matériels laser.

La présente version consolidée de la CEI 60825-1 est issue de la première édition (1993) et de son amendement 1 (1997) [documents 76/157/FDIS et 76/165/RVD].

Elle porte le numéro d'édition 1.1.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1.

Cette première édition de la CEI 60825-1 annule et remplace la première édition de la CEI 60825 publiée en 1984 et son amendement 1 dont elle constitue une révision technique. Elle annule et remplace également la CEI 60820 publiée en 1986.

La CEI 60825-1 a le statut d'une publication groupée de sécurité, conformément au Guide 104* pour ce qui concerne les aspects du rayonnement laser relatifs à la sécurité des personnes.

La CEI 60825-1 est également appelée «partie 1» dans cette publication.

Les annexes A, B, C, D, E et F sont données à titre d'information.

* Guide CEI 104:1984, *Guide pour la rédaction des normes de sécurité et rôle des comités chargés de fonctions pilotes de sécurité et de fonctions groupées de sécurité*.
Il constitue un guide pour les comités d'études de la CEI et les rédacteurs de spécifications, concernant la manière dont les normes de sécurité doivent être rédigées.
Ce guide ne constitue pas une référence normative et la référence qui y est faite est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SAFETY OF LASER PRODUCTS –**Part 1: Equipment classification, requirements
and user's guide**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60825-1 has been prepared by IEC technical committee 76: Laser equipment.

This consolidated version of IEC 60825-1 is based on the first edition (1993) and its amendment 1 (1997) [documents 76/157/FDIS and 76/165/RVD].

It bears the edition number 1.1.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1.

This first edition of IEC 60825-1 cancels and replaces the first edition of IEC 60825 published in 1984, and its amendment 1, of which it constitutes a technical revision. It also cancels and replaces IEC 60820 published in 1986.

IEC 60825-1 has the status of a Group Safety Publication, in accordance with IEC Guide 104*, for aspects of laser radiation pertaining to human safety.

IEC 60825-1 is also referred to as "part 1" in this publication.

Annexes A, B, C, D, E and F are given for information only.

* IEC Guide 104:1984, *Guide to the drafting of safety standards, and the role of Committees with safety pilot functions and safety group functions*.
It gives guidance to IEC technical committees and to writers of specifications concerning the manner in which safety publications should be drafted.
This guide does not constitute a normative reference but reference to it is given for information only.

SÉCURITÉ DES APPAREILS À LASER –

Partie 1: Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur

Section un – Généralités

1 Domaine d'application et objet

1.1 Domaine d'application

La CEI 60825-1 est relative à la sécurité des appareils à laser. Par commodité, elle est divisée en trois sections séparées: section un (Généralités) et les annexes, section deux (Prescriptions de fabrication) et section trois (Guide de l'utilisateur)*.

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 CEI 60825-1, étant donné que l'appareil final sera, lui-même, soumis à cette norme.

Tout au long de cette partie 1, les diodes électroluminescentes (DEL) sont incluses à chaque fois que le mot «laser» est utilisé.

Tout appareil à laser ou appareil à DEL n'est pas soumis aux prescriptions de la présente partie 1

- si la classification par le fabricant selon les articles 3, 8 et 9 indique que le niveau d'émission n'excède pas la limite d'émission accessible (LEA) de la classe 1 dans toutes les conditions de fonctionnement, d'entretien, de réglage ou de défaut, et
- s'il ne contient pas un laser ou une DEL incorporé.

En complément des risques associés au rayonnement laser, les appareils à laser peuvent éventuellement présenter aussi d'autres risques tels que constituer un danger d'incendie ou provoquer un choc électrique.

Cette norme donne les prescriptions minimales.

Lorsqu'un système à laser constitue une partie d'un matériel qui est soumis à une autre norme CEI de sécurité du matériel (par exemple matériels médicaux (CEI 60601-2-22), matériels de traitement de l'information (CEI 60950), matériels audio et vidéo (CEI 60065), matériels pour utilisation en atmosphères dangereuses), la présente partie 1 sera appliquée, conformément aux dispositions du Guide CEI 104** pour les risques associés au rayonnement laser.

* Certains pays ont des spécifications qui sont différentes de celles qui sont énoncées dans la section trois de cette partie 1. En conséquence, l'agence nationale appropriée doit être contactée pour ces spécifications.

** Guide CEI 104:1984, *Guide pour la rédaction des normes de sécurité et rôle des comités chargés de fonctions pilotes de sécurité et de fonctions groupées de sécurité*.
Il constitue un guide pour les comités d'études de la CEI et les rédacteurs de spécifications, concernant la manière dont les normes de sécurité doivent être rédigées.
Ce guide ne constitue pas une référence normative et la référence qui y est faite est donnée uniquement à titre d'information.

SAFETY OF LASER PRODUCTS –

Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide

Section One – General

1 Scope and object

1.1 Scope

IEC 60825-1 is applicable to safety of laser products. For convenience it is divided into three separate sections: Section One (General) and the annexes; Section Two (Manufacturing requirements); and Section Three (User's guide*).

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 phenomena; materials 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 IEC 60825-1, since the final product will itself be subject to this standard.

Throughout this part 1 light emitting diodes (LED) are included whenever the word "laser" is used.

Any laser product or LED product is exempt from all further requirements of this part 1 if

- classification by the manufacturer according to clauses 3, 8 and 9 shows that the emission level does not exceed the AEL of Class 1 under all conditions of operation, maintenance, service and failure, and
- it does not contain an embedded laser or embedded LED.

In addition to the hazards resulting from laser radiation, laser equipment may also give rise to other hazards such as fire and electric shock.

This part 1 describes the minimum requirements.

Where a laser system forms a part of equipment which is subject to another IEC product safety standard (e.g. for medical equipment (IEC 60601-2-22) IT equipment (IEC 60950), audio and video equipment (IEC 60065), equipment for use in hazardous atmospheres), this part 1 will apply in accordance with the provisions of IEC Guide 104** , for hazards resulting from laser radiation.

* Some countries have requirements which differ from Section Three of this part 1. Therefore, contact the appropriate national agency for these requirements.

** IEC Guide 104:1984, *Guide to the drafting of safety standards, and the role of Committees with safety pilot functions and safety group functions*. It gives guidance to IEC technical committees and to writers of specifications concerning the manner in which safety publications should be drafted. This guide does not constitute a normative reference but reference to it is given for information only.

Cependant, si le système à laser est utilisable lorsqu'il est ôté de ce matériel, toutes les exigences de cette partie 1 doivent s'appliquer à ce système amovible.

S'il n'y a pas de norme de sécurité du matériel directement applicable, alors la CEI 61010-1 doit s'appliquer.

Les valeurs des EMP (expositions maximales permises) de cette partie 1 ont été établies pour le rayonnement laser et ne s'appliquent pas au rayonnement connexe.

Cependant, s'il demeure une inquiétude concernant le risque d'un rayonnement connexe, les valeurs des EMP pour les lasers peuvent être appliquées pour minimiser ce risque.

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.

1.2 Objet

1.2.1 Protéger les personnes contre le rayonnement laser dans la gamme de longueurs d'onde allant de 180 nm à 1 mm* en indiquant les niveaux d'utilisation en toute sécurité du rayonnement laser et en introduisant un système de classification des lasers et des appareils à laser compte tenu du degré de risque qu'ils présentent.

1.2.2 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.

1.2.3 Assurer aux personnes une mise en garde appropriée contre les risques associés au rayonnement accessible des appareils à laser, par signalisation, étiquetage et instructions.

1.2.4 Diminuer la possibilité d'accident en réduisant au minimum le rayonnement accessible non utile, procurer un meilleur contrôle des risques liés au 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.

1.2.5 Protéger les personnes contre les autres risques résultant du fonctionnement et de l'utilisation des appareils à laser.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60825. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60825 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60027-1:1992, *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique – Partie 1: Généralités*

CEI 60050(845):1987, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 845: Eclairage*

* Dans la présente partie 1, le domaine de longueurs d'onde λ_1 à λ_2 signifie $\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2$ (par exemple 180 nm à 1 mm signifie $180 \text{ nm} \leq \lambda < 1 \text{ mm}$).

However, if the laser system is operable when removed from the equipment, all the requirements of this part 1 will apply to the removed unit.

If no product safety standard is applicable, then IEC 61010-1 shall apply.

The MPE (maximum permissible exposure) values of this part 1 were developed for laser radiation and do not apply to collateral radiation.

However, if a concern exists that accessible collateral radiation might be hazardous, the laser MPE values may be applied to conservatively evaluate this risk.

The MPE values shall not be applicable to patient exposure to laser radiation for the purpose of medical treatment.

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

1.2 Object

1.2.1 To protect persons from laser radiation in the wavelength range 180 nm to 1 mm* 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.

1.2.2 To lay down requirements for both user and manufacturer to establish procedures and supply information so that proper precautions can be adopted.

1.2.3 To ensure adequate warning to individuals of hazards associated with accessible radiation from laser products through signs, labels and instructions.

1.2.4 To reduce the possibility of injury by minimizing unnecessary accessible radiation and to give improved control of the laser radiation hazards through protective features and provide safe usage of laser products by specifying user control measures.

1.2.5 To protect persons against other hazards resulting from the operation and use of laser products.

2 Normative references

The following standards contain provisions which through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60825. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 60825 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60027-1:1992, *Letter symbols to be used in electrical technology – Part 1: General*

IEC 60050(845):1987, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 845: Lighting*

* In this part 1, the wavelength range λ_1 to λ_2 means $\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2$ (e.g. 180 nm to 1 mm means $180 \text{ nm} \leq \lambda < 1 \text{ mm}$).

CEI 60601-2-22:1992, *Appareils électromédicaux – Partie 2: Règles particulières de sécurité pour les appareils thérapeutiques et de diagnostic à laser*

CEI 60825-2:1993, *Sécurité des appareils à laser – Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques*

CEI 61010-1:1990, *Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire – Partie 1: Prescriptions générales*
Amendement 1: 1992

CEI 61040:1990, *Détecteurs, instruments et matériels de mesurage de puissance et d'énergie des rayonnements laser*

ISO 1000: 1992, *Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités*

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 des 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 (3.6).

3.6 diamètre apparent (α): Diamètre apparent d'une source apparente (y compris les réflexions diffuses) vue par l'oeil de l'observateur ou au point de mesure (Voir également Diamètre apparent maximum (3.49) et Diamètre apparent minimum (3.53)). Ce concept est discuté à l'article A.3 de l'annexe A.

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

Un diaphragme est toute ouverture servant à définir 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 CEI 60050(845) sont voulues et signalées. La référence est faite au numéro de la définition du chapitre 845 de la CEI 60050.

IEC 60601-2-22:1992, *Medical electrical equipment – Part 2: Particular requirements for the safety of diagnostic and therapeutic laser equipment*

IEC 60825-2:1993, *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems*

IEC 61010-1:1990, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use – Part 1: General requirements*
Amendment 1, 1992

IEC 61040:1990, *Power and energy measuring detectors, instruments and equipment for laser radiation*

ISO 1000:1992, *SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units.*

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 relation to one another;
- c) defining a plane, level, elevation or straight line.

3.5 **alpha min. ($\alpha_{\min}$):** See angular subtense (3.6)

3.6 **angular subtense (α):** The visual angle subtended by the apparent source (including diffuse reflections) at the eye of an observer or at the point of measurement (see also maximum angular subtense (3.49) and minimum angular subtense (3.53)). This concept is discussed in clause A.3 of annex A.

3.7 **aperture, aperture stop:** An aperture is 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.

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

* Arranged here for convenience in English alphabetical order. Departures from IEC 60050(845) are intentional and are indicated. Reference is made to the definition number in Chapter 845 of IEC 60050.

3.8 source apparente: Tout objet réel ou virtuel qui forme la plus petite image rétinienne possible.

NOTE – Cette définition est utilisée pour déterminer l'emplacement de l'origine apparente du rayonnement laser dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 1 400 nm, en partant du principe que la source apparente se trouve dans la plage d'accommodation de l'oeil (≥ 100 mm). Dans la limite de la divergence de fuite, c'est-à-dire dans le cas d'un faisceau parfaitement collimaté, l'emplacement de la source apparente tend vers l'infini.

Le concept de source apparente est utilisé dans la gamme étendue de longueurs d'onde de 302,5 nm à 4 000 nm où il est possible de faire converger des rayonnements par des lentilles conventionnelles.

3.9 atténuateur de faisceau: Dispositif qui réduit le rayonnement laser à une valeur égale ou inférieure à un niveau déterminé.

3.10 diamètre d'un faisceau (largeur du faisceau): Diamètre d'un faisceau d_u en un point de l'espace est le diamètre du plus petit cercle qui contient u % de la puissance totale du laser (ou de l'énergie). Pour les besoins de cette norme d_{63} est utilisé.

NOTE – Dans le cas d'un faisceau gaussien, d_{63} correspond aux points où l'éclairement énergétique (ou l'exposition énergétique) tombe à 1/e de sa valeur centrale maximale.

3.11 divergence du faisceau: La divergence du faisceau est l'angle en champ lointain du cône défini par les diamètres du faisceau. Si les diamètres du faisceau (voir 3.10) en deux points séparés d'une distance L sont d_{63} et d'_{63} , la divergence de faisceau est donnée par:

$$\arctan [(d'_{63} - d_{63}) / L]$$

Unité SI: radian

3.12 système optique afocal: Combinaison d'éléments optiques destinés à augmenter le diamètre d'un faisceau laser.

3.13 composant du trajet du faisceau: Composant optique qui contribue à définir le trajet du faisceau (ex. un miroir d'orientation du faisceau ou une lentille de focalisation).

3.14 arrêt de faisceau: Dispositif qui interromp le trajet d'un faisceau laser.

3.15 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 9.2).

3.16 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'onde de 400 nm à 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 9.2).

3.17 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 9.2).

3.18 appareil 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 9.2).

3.8 apparent source: The real or virtual object that forms the smallest possible retinal image.

NOTE – This definition is used to determine the location of the apparent origin of laser radiation in the wavelength range of 400 nm to 1 400 nm, with the assumption of the apparent source being located in the eye's range of accommodation (≥ 100 mm). In the limit of vanishing divergence, i.e. in the case of an ideally collimated beam, the location of the apparent source goes to infinity.

The concept of an apparent source is used in the extended wavelength region 302,5 nm to 4 000 nm since focusing by conventional lenses might be possible in that region.

3.9 beam attenuator: A device which reduces the laser radiation to or below a specified level.

3.10 beam diameter (beam width): The beam diameter d_u at a point in space is the diameter of the smallest circle which contains u % of the total laser power (or energy). For the purpose of this standard d_{63} is used.

NOTE – In the case of a Gaussian beam, d_{63} corresponds to the point where the irradiance (radiant exposure) falls to $1/e$ of its central peak value.

3.11 beam divergence: The beam divergence is the far field plane angle of the cone defined by the beam diameter. If the beam diameters (see 3.10) at two points separated by a distance L are d_{63} and d'_{63} the divergence is given by:

$$\arctan [(d'_{63} - d_{63}) / L]$$

SI unit: radian

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

3.13 beam path component: An optical component which lies on a defined beam path (e.g. a beam steering mirror or a focusing lens).

3.14 beam stop: A device which terminates a laser beam path.

3.15 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 durations (see 9.2).

3.16 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 9.2).

3.17 Class 3A and Class 3B laser products: 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 9.2).

3.18 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 9.2).

3.19 rayonnement connexe: Tout rayonnement électromagnétique dans la gamme de longueurs d'onde de 180 nm à 1 mm, excepté le rayonnement laser émis par un appareil à laser comme résultat du, ou physiquement nécessaire pour, le fonctionnement d'un laser.

3.20 faisceau collimaté: Faisceau de rayonnement «parallèle» à très faible divergence ou convergence.

3.21 émission continue: Emission d'un laser fonctionnant en continu et non pas en impulsions. Dans la présente partie 1, un laser émettant de façon continue pendant une durée égale ou supérieure à 0,25 s est considéré comme un laser à émission continue.

3.22 trajet défini du faisceau: Trajet prévu du faisceau laser dans l'appareil à laser.

3.23 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.

3.24 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 VET 845-04-47.

3.25 appareil avec laser incorporé: Dans cette partie 1, 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.

3.26 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.

3.27 rayonnement laser erratique: Rayonnement laser qui dévie d'un trajet défini du faisceau. Un tel rayonnement inclut les réflexions secondaires imprévues par des composants du trajet du faisceau, les rayonnements déviés par des composants désalignés ou endommagés et les réflexions par une pièce en cours de traitement.

3.28 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.

3.29 vision d'une source étendue: Condition de vision par laquelle la source apparente à une distance de 100 mm ou plus est vue par l'observateur sous un angle supérieur au diamètre apparent limite ($\alpha_{\min}$).

Citons comme exemple la vision de réflexions diffuses et de réseaux de diodes laser.

3.30 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.

3.31 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 ou que le capot mobile soit verrouillé en position fermée.

3.19 collateral radiation: Any electromagnetic radiation, within the wavelength range between 180 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.

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

3.21 continuous wave (CW): The output of a laser which is operated in a continuous rather than pulsed mode. In this part 1, a laser operating with a continuous output for a period equal to or greater than 0,25 s is regarded as a CW laser.

3.22 defined beam path: An intended path of a laser beam within the laser product.

3.23 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.

3.24 diffuse reflection: Change of the spatial distribution of a beam of radiation by scattering 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 IEC 845-04-47.

3.25 embedded laser product: In this part 1 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.

3.26 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.

3.27 errant laser radiation: Laser radiation which deviates from a defined beam path. Such radiation includes unwanted secondary reflections from beam path components, deviant radiation from misaligned or damaged components, and reflections from a workpiece.

3.28 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.

3.29 extended source viewing: The viewing conditions whereby the apparent source at a distance of 100 mm or more subtends an angle at the eye greater than the limiting angular subtense ($\alpha_{\min}$).

Examples are viewing of some diffuse reflections and of some laser diode arrays.

3.30 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.

3.31 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.

3.32 accès humain:

- a) Possibilité pour une partie du corps humain de rencontrer un rayonnement laser dangereux émis par une ouverture, ou possibilité pour une sonde rectiligne de diamètre 12 mm et de longueur maximum 80 mm d'intercepter un rayonnement laser de classe 2, 3A ou 3B ne dépassant pas 5 fois la LEA de la classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, ou
- b) Pour les niveaux de rayonnement laser qui dépassent à l'intérieur d'une enceinte de protection les limites de a), la possibilité pour une partie du corps humain d'intercepter un rayonnement laser dangereux qui peut être réfléchi directement par toute surface plate introduite dans tout orifice de l'enceinte de l'appareil.

3.33 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 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$).

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

Exemples: vision de faisceaux collimatés et de sources ponctuelles.

3.35 éclairement énergétique: Quotient du flux énergétique $d\Phi$ reçu par un élément de la surface contenant le point, par l'air dA de cet élément.

symbole: E

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

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

3.36 laser: Tout dispositif que l'on peut réaliser pour produire ou amplifier un rayonnement électromagnétique compris dans la gamme de longueurs d'onde de 180 nm à 1 mm essentiellement par le phénomène d'émission stimulée contrôlée.

NOTE – Cette définition diffère de celle du VET 845-04-39.

3.37 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.

3.38 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.

3.39 zone de risque laser: voir zone nominale de risque optique (3.55).

3.40 système de transmission laser à fibre optique: Un système incluant un ou plusieurs émetteurs laser en association avec un câble de fibres optiques.

3.41 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.

3.42 rayonnement laser: Tout rayonnement électromagnétique émis par un appareil à laser, compris dans la gamme de longueurs d'onde de 180 nm à 1 mm, qui est produit par l'émission stimulée contrôlée.

3.32 human access:

- a) Capability for a part of the human body to meet hazardous laser radiation either as emitted from an aperture, or capability for a straight 12 mm diameter probe up to 80 mm long to intercept laser radiation of Class 2, 3A, or 3B of not more than 5 times the AEL of Class 2 in the wavelength region from 400 nm to 700 nm, or
- b) For levels of laser radiation within a housing that exceed the limits in a) the capability for any part of the human body to meet hazardous laser radiation that can be reflected directly by any single introduced flat surface from the interior of the product through any opening in its protective housing.

3.33 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 $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$).

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

Examples are viewing of collimated beams and of point-type sources:

3.35 irradiance: Quotient of the radiant flux $d\Phi$ incident on an element of a surface by the area dA of that element.

Symbol: E

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

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

3.36 laser: Any device which can be made to produce or amplify electromagnetic radiation in the wavelength range from 180 nm to 1 mm primarily by the process of controlled stimulated emission.

NOTE – This definition is different from IEC 845-04-39.

3.37 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.

3.38 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.

3.39 laser hazard area: See nominal ocular hazard area (3.55).

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

3.41 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.

3.42 laser radiation: All electromagnetic radiation emitted by a laser product between 180 nm and 1 mm which is produced as a result of controlled stimulated emission.

3.43 responsable de sécurité laser: 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.

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

3.45 appareils à laser de nivellement: Voir appareil à laser d'alignement (3.4).

3.46 diode électroluminescente (DEL): Tout dispositif semiconducteur à jonction p-n qui peut produire un rayonnement électromagnétique par recombinaison directe dans le semiconducteur, dans la gamme de longueurs d'onde de 180 nm à 1 mm. (Le rayonnement optique est produit principalement par le processus d'émission spontanée, bien qu'il puisse y avoir une certaine émission stimulée.)

3.47 diaphragme limite: Surface circulaire sur laquelle la moyenne d'un éclairage ou d'une exposition énergétique est établie.

3.48 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.

3.49 diamètre apparent maximum ($\alpha_{\max}$): Valeur du diamètre apparent de la source apparente au-dessus de laquelle les EMP et les LEA sont indépendantes de la dimension de la source.

3.50 émission maximale: Valeur maximale de la puissance du 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.

3.51 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'oeil 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 1 400 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.

3.52 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.

3.53 diamètre apparent minimum ($\alpha_{\min}$): Valeur du diamètre apparent de la source apparente au-dessus de laquelle une source est considérée comme une source étendue. Les EMP et les LEA sont indépendants de la dimension de la source pour les diamètres apparents inférieurs à $\alpha_{\min}$.

3.54 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.

3.43 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.

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

3.45 levelling laser product: See alignment laser product (3.4).

3.46 light emitting diode (LED): Any semiconductor p-n junction device which can be made to produce electromagnetic radiation by radiative recombination in the semiconductor in the wavelength range from 180 nm to 1 mm. (The optical radiation is produced primarily by the process of spontaneous emission, although some stimulated emission may be present.)

3.47 limiting aperture: The circular area over which irradiance and radiant exposure are averaged.

3.48 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.

3.49 maximum angular subtense ($\alpha_{\max}$): The value of angular subtense of the apparent source above which the MPEs and AELs are independent of the source size.

3.50 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.

3.51 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 infrared radiation in the range 400 nm to 1 400 nm, the size of the retinal image. Maximum Permissible Exposure levels are (in the existing state of knowledge) specified in clause 13. Annex A gives examples of the calculations of MPE levels.

3.52 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.

3.53 minimum angular subtense ($\alpha_{\min}$): The value of angular subtense of the apparent source above which a source is considered an extended source. MPEs and AELs are independent of the source size for angular subtenses less than $\alpha_{\min}$.

3.54 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.

3.55 zone nominale de risque optique (ZNRO): Zone à l'intérieur de laquelle l'éclairement ou 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».

3.56 distance nominale de risque oculaire (DNRO): Distance pour laquelle l'éclairement ou l'exposition énergétique est égale à l'exposition maximale permise (EMP) appropriée au niveau de la cornée. Si la DNRO comprend la possibilité de vision assistée optiquement, elle est désignée par «DNRO étendue».

3.57 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.

3.58 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.

3.59 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).

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

3.61 laser impulsif: Laser qui délivre son énergie sous forme d'une seule impulsion ou d'un train d'impulsions. Dans la présente partie 1, la durée d'une impulsion est inférieure à 0,25 s.

3.62 luminance énergétique: Grandeur définie par la formule

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

où

$d\Phi$ est le flux énergétique transmis par un faisceau élémentaire passant par le point donné et se propageant dans l'angle solide $d\Omega$ contenant la direction donnée;

dA est l'aire d'une section de ce faisceau au point donné;

θ est l'angle entre la normale à cette section et la direction du faisceau.

Symbole: L

Unité: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$

NOTE – Cette définition est une version simplifiée du VEI 845-01-34, suffisante pour les besoins de la présente partie 1. En cas de doute, on suivra la définition du VEI.

3.63 énergie rayonnante: Intégrale par rapport au temps du flux énergétique pendant une durée donnée Δt (VEI 845-01-27):

Symbole: Q

$$Q = \int_{\Delta t} \Phi dt$$

Unité SI: joule (J)

3.55 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".

3.56 nominal ocular hazard distance (NOHD): The distance at which the beam irradiance or radiant exposure equals the appropriate corneal maximum permissible exposure (MPE). If the NOHD includes the possibility of optically-aided viewing, this is termed the "extended NOHD".

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

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

3.59 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).

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

3.61 pulsed laser: A laser which delivers its energy in the form of a single pulse or a train of pulses. In this part 1, the duration of a pulse is less than 0,25 s.

3.62 radiance: Quantity defined by the formula

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

where

$d\Phi$ is the radiant flux transmitted by an elementary beam passing through the given point and propagating in the solid angle $d\Omega$ containing the given direction;

dA is the area of a section of that beam containing the given point;

θ is the angle between the normal to that section and the direction of the beam.

Symbol: L

Unit: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$

NOTE – This definition is a simplified version of IECV 845-01-34, sufficient for the purpose of this part 1. In cases of doubt, the IECV definition should be followed.

3.63 radiant energy: Time integral of the radiant flux over a given duration Δt (IECV 845-01-27):

Symbol: Q

$$Q = \int_{\Delta t} \Phi dt$$

SI unit: joule (J)

3.64 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 J·m⁻²).

Symbole: H

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

Unité SI: joule par mètre carré (J·m⁻²)

3.65 puissance rayonnante; flux énergétique: Puissance émise, transmise ou reçue sous forme de rayonnement (VEI 845-01-24).

Symbole: Φ, P

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

Unité SI: watt (W)

3.66 facteur de réflexion: Rapport du flux énergétique réfléchi au flux incident dans les conditions données (VEI 845-04-58).

Symbole: ρ
Unité SI: 1

3.67 connecteur de verrouillage à distance: Connecteur électrique qui permet la connexion des commandes extérieures séparées des autres composants de l'appareil à laser (voir 4.4).

3.68 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.

3.69 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.

3.70 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.

3.71 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.

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

3.73 condition de premier défaut: Tout premier défaut qui peut survenir dans un appareil et les conséquences directes qui en résultent.

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

3.75 appareil à laser de topographie: Voir appareil à laser d'alignement (3.4).

3.76 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.

3.64 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 J·m⁻²).

Symbol: H

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

SI unit: joule per square metre (J·m⁻²)

3.65 radiant power; radiant flux: Power emitted, transferred, or received in the form of radiation (IEV 845-01-24).

Symbol: Φ , P

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

SI unit: watt (W)

3.66 reflectance: Ratio of the reflected radiant power to the incident radiant power in the given conditions (IEV 845-04-58).

Symbol: ρ
SI unit: 1

3.67 remote interlock connector: A connector which permits the connection of external controls placed apart from other components of the laser product (see 4.4).

3.68 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.

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

3.70 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.

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

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

3.73 single fault condition: Any single fault that might occur in a product and the direct consequences of that fault.

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

3.75 surveying laser product: See alignment laser product (3.4).

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

3.77 facteur de transmission: rapport du flux énergétique transmis au flux incident dans les conditions données (VEI 845-04-59).

Symbole: τ

Unité SI: 1

3.78 densité optique: Logarithme décimal de l'inverse du facteur de transmission τ (VEI 845-04-66).

Symbole: D

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

3.79 rayonnement visible (lumière): Tout rayonnement optique susceptible de produire directement une sensation visuelle (VEI 845-01-03).

NOTE – Dans la présente partie 1 cela signifie: rayonnement électromagnétique pour lequel les longueurs d'onde des composantes monochromatiques sont comprises entre 400 nm et 700 nm.

3.80 pièce à traiter: Un objet destiné à être traité par rayonnement laser.

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 en 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.

4.1.1 Modification

Si la modification d'un appareil à 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 à laser.

4.2 Capot de protection

4.2.1 Généralités

Tout appareil à laser doit avoir un capot de protection qui, lorsqu'il est en place, empêche l'accès humain à un rayonnement laser (y compris un rayonnement laser erratique) excédant les limites de la classe 1, sauf où l'accès humain est nécessaire pour remplir la (ou les) fonction(s) de l'appareil. (Voir le guide d'utilisation de l'annexe E pour appliquer cette exigence aux lasers de forte puissance).

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 4.3) doit être fixée de telle façon que le démontage ou le déplacement de cette partie nécessite l'utilisation d'outils.

3.77 transmittance: Ratio of the transmitted radiant flux to the incident flux in the given conditions (IEV 845-04-59).

Symbol: τ

SI unit: 1

3.78 transmittance (optical) density: Logarithm to base ten of the reciprocal of the Transmittance τ (IEV 845-04-66).

Symbol: D

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

3.79 visible radiation (light): Any optical radiation capable of causing a visual sensation directly (IEV 845-01-03).

NOTE – In this part 1, this is taken to mean electromagnetic radiation for which the wavelength of the monochromatic components lie between 400 nm and 700 nm.

3.80 workpiece: An object intended for processing by laser radiation.

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 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

If the modification of a previously classified laser product affects any aspects of the product 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 shall have a protective housing which, when in place, prevents human access to laser radiation (including errant laser radiation) in excess of Class 1, except when human access is necessary for the performance of the function(s) of the product. (See annex E for guidance on this requirement for high power lasers).

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 4.3) shall be secured in such a way that removal or displacement of the parts requires the use of tools.

4.2.3 Système à laser démontable

Si un appareil à laser incorporé ou un système à 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 Un verrouillage de sécurité doit être prévu pour les panneaux d'accès des capots de protection lorsque les deux conditions suivantes sont remplies:

- le panneau d'accès est conçu pour être retiré ou déplacé au cours de l'entretien ou du fonctionnement, et
- le retrait du panneau permet l'accès humain à des niveaux de rayonnement laser dépassant la LEA de la classe 3A; cependant, un verrouillage de sécurité n'est pas exigé pour les appareils à laser des classes 3B ou 4 si le rayonnement laser intérieur accessible est de classe 3B, dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, et est inférieur à cinq fois la LEA de la classe 2.

Le tableau ci-dessous indique (X) la nécessité d'un verrouillage de sécurité.

Classe de l'appareil	Emission accessible au cours du retrait des panneaux d'accès				
	1	2	3A	3B	4
1	–	–	–	X	X
2	–	–	–	X	X
3A	–	–	–	X	X
3B	–	–	–	X*	X
4	–	–	–	X*	X

* Non exigé si le rayonnement laser intérieur accessible est de classe 3B, dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, et est inférieur à cinq fois la LEA de la classe 2.

Le retrait du panneau ne doit pas entraîner une émission par cette ouverture qui soit supérieure à la LEA de la classe 3A.

Le verrouillage de sécurité doit être conçu afin d'empêcher le retrait du panneau tant que les valeurs de l'émission accessible ne sont pas inférieures aux LEA de la classe assignée et, dans tous les cas, inférieures aux limites spécifiées en 4.3.1 b). La neutralisation involontaire du verrouillage de sécurité ne doit pas permettre l'émission à des valeurs supérieures à la LEA de la classe assignée ni au-dessus des limites spécifiées au point b) de 4.3.1.

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 de 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.

4.2.3 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 Access panels and safety interlocks

4.3.1 A safety interlock shall be provided for access panels of protective housings when both of the following conditions are met:

- a) the access panel is intended to be removed or displaced during maintenance or operation, and
- b) the removal of the panel gives human access to laser radiation levels in excess of the AEL of Class 3A; however, a safety interlock is not required for a Class 3B or 4 product if the interior accessible laser radiation is Class 3B, is in the range of 400 nm to 700 nm, and is less than 5 times the AEL of Class 2.

The table below indicates (X) the necessity of a safety interlock.

Product class	Accessible emission during removal of access panel				
	1	2	3A	3B	4
1	–	–	–	X	X
2	–	–	–	X	X
3A	–	–	–	X	X
3B	–	–	–	X*	X
4	–	–	–	X*	X
* Not required if the interior accessible laser radiation is Class 3B in the range 400 nm to 700 nm, and is less than 5 times the AEL of Class 2.					

Removal of the panel shall not result in emission through the opening in excess of the AEL for Class 3A.

The safety interlock shall be of a design which prevents the removal of the panel until the accessible emission levels are below the AEL of the Class assigned and, in any case, below the limits specified in 4.3.1 b). Inadvertent resetting of the interlock shall not in itself restore emission values above the AEL of the Class assigned nor above the limits specified in 4.3.1 b).

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 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 Connecteur de verrouillage à distance

Tout système à laser appartenant à l'une des classes suivantes doit être équipé d'un connecteur de verrouillage à distance: classe 4 et classe 3B, sauf pour la classe 3B ne présentant pas plus de cinq fois les LEA de la classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm. Lorsque les bornes du connecteur ne sont pas raccordées électriquement, le rayonnement accessible ne doit pas dépasser les LEA des classes 1, 2 ou 3A.

4.5 Commande à clé

Tout système à laser appartenant à l'une des classes suivantes doit être équipé d'un organe de commande principal actionné par clé: classe 4 et classe 3B, sauf pour la classe 3B ne présentant pas plus de cinq fois les LEA de la classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm. La clé doit pouvoir être retirée et le rayonnement laser ne doit pas être accessible lorsque la clé est retirée. Dans la présente partie 1, 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

4.6.1 Chaque système à laser appartenant à l'une des classes suivantes doit donner un avertissement auditif ou visuel quand il est mis en marche ou si la batterie de condensateurs des lasers à impulsions est en cours de charge ou n'a pas été déchargée de façon certaine: classe 4 et classe 3B sauf pour la classe 3B ne présentant pas plus de cinq fois les LEA de la classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm. Le dispositif d'avertissement doit être à sécurité positive ou redondant. Tout dispositif d'avertissement visible doit être clairement visible à travers un protecteur oculaire conçu spécifiquement pour la (les) longueur(s) d'onde du rayonnement laser émis. Le (les) dispositif(s) d'avertissement visible doit (doivent) être situé(s) de façon que son (leurs) observation(s) ne nécessite(nt) pas l'exposition au rayonnement laser excédant les LEA des classes 1 et 2.

4.6.2 Chaque contrôle de fonctionnement et ouverture du laser qui peuvent être séparés par une distance de 2 mètres ou plus du dispositif d'avertissement d'émission doivent eux-mêmes comporter un tel dispositif d'avertissement. Le dispositif d'avertissement doit être clairement visible ou audible par une personne à proximité d'un contrôle de fonctionnement ou d'une ouverture du laser.

4.6.3 Si le rayonnement laser est susceptible d'être distribué à travers plus d'une ouverture, un dispositif d'avertissement visible doit clairement indiquer l'ouverture ou les ouvertures à travers la ou lesquelles peut sortir le rayonnement laser, en accord avec 4.6.1.

4.7 Arrêt de faisceau ou atténuateur

Tout système à laser appartenant à l'une des classes suivantes doit être équipé d'un ou plusieurs moyens fixés à demeure (arrêt de faisceau ou atténuateur, autres que: interrupteur d'alimentation laser, connecteur d'alimentation électrique ou clé de commande): classe 4 et classe 3B, sauf pour la classe 3B ne présentant pas plus de cinq fois les LEA de la classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm. L'arrêt de faisceau ou l'atténuateur doit être capable d'empêcher l'accès humain au rayonnement laser dépassant les LEA des classes 1, 2 ou 3A.

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.

4.9 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

4.4 Remote interlock connector

Any laser system belonging to one of the following classes shall have a remote interlock connector: Class 4 and Class 3B, except for Class 3B with not more than 5 times the AEL of Class 2 in the wavelength range from 400 nm to 700 nm. When the terminals of the connector are open-circuited, the accessible radiation shall not exceed the AEL for Class 1, Class 2 or Class 3A.

4.5 Key control

Any laser system belonging to one of the following classes shall incorporate a key operated master control: Class 4 and Class 3B, except for Class 3B with not more than 5 times the AEL of Class 2 in the wavelength range from 400 nm to 700 nm. The key shall be removable and the laser radiation shall not be accessible when the key is removed. In this part 1, the term "key" includes any other control devices, such as magnetic cards, cipher combinations, etc.

4.6 Laser radiation emission warning

4.6.1 Each laser system belonging to one of the following classes shall give an audible or visible warning when it is switched on or if capacitor banks of a pulsed laser are being charged or have not been positively discharged: Class 4 and Class 3B, except for those Class 3B lasers with not more than 5 times the AEL of Class 2 in the wavelength range from 400 nm to 700 nm. The warning device shall be fail-safe or redundant. Any visible warning device shall be clearly visible through protective eyewear specifically designed for the wavelength(s) of the emitted laser radiation. 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.

4.6.2 Each operational control and laser aperture that can be separated by 2 metres or more from a radiation warning device shall itself be provided with a radiation warning device. The warning device shall be clearly visible or audible to the person in the vicinity of the operational control or laser aperture.

4.6.3 Where the laser emission may be distributed through more than one output aperture, then a visible warning device shall clearly indicate the output aperture or apertures through which laser emission can occur, in accordance with 4.6.1.

4.7 Beam stop or attenuator

Any laser system belonging to one of the following classes shall incorporate one or more permanently attached means of attenuation (beam stop or attenuator, other than a laser energy source switch, mains connector or key control): Class 4 and Class 3B, except for Class 3B with not more than 5 times the AEL of Class 2 in the wavelength range from 400 nm to 700 nm. The beam stop or attenuator shall be capable of preventing human access to laser radiation in excess of the AEL for Class 1, Class 2 or Class 3A.

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 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

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 manoeuvre 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.

4.11 Aides à l'alignement

Si l'entretien courant exige l'alignement des composants du trajet du faisceau, des moyens sûrs doivent être fournis pour le réaliser.

4.12 Accès «piétonnier»

Si une enceinte de protection est équipée avec un panneau d'accès qui prévoit un accès «piétonnier», alors:

- a) des moyens doivent être fournis de façon que toute personne pénétrant dans l'enceinte puisse empêcher le risque de mise en marche inopinée du laser, sauf pour les classes 1, 2, 3A ou 3B présentant pas plus de cinq fois les LEA de la classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm;
- b) un dispositif d'avertissement d'émission doit être placé de manière à prévenir toute personne, susceptible d'être à l'intérieur de l'enceinte, de l'émission d'un rayonnement laser excédant les LEA des lasers de la classe 3A et ceux de la classe 3B ne présentant pas plus de cinq fois les LEA de la classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm.

4.13 Considérations liées à l'environnement

L'appareil à laser doit satisfaire aux exigences de sécurité définies dans cette norme dans toutes les conditions prévisibles et appropriées à son fonctionnement pour son utilisation normale. Les paramètres qui doivent être pris en compte sont:

- les conditions climatiques (exemple: température, humidité relative);
- les vibrations et les chocs.

Si rien n'est prévu dans la norme de sécurité applicable, les paragraphes appropriés de la CEI 61010-1 doivent s'appliquer.

NOTE – Les prescriptions relatives à la susceptibilité électromagnétique sont à l'étude.

4.14 Protection contre les autres risques

4.14.1 Risques non liés au rayonnement optique

Les prescriptions des normes de sécurité applicables à l'appareil doivent être satisfaites en fonctionnement normal et en condition de premier défaut pour les risques suivants:

- risques électriques;
- température excessive;
- risque de propagation d'incendie à partir de l'appareil;

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.

4.11 Alignment aids

Where routine maintenance requires the alignment of beam path components, then a safe means of achieving this shall be provided.

4.12 "Walk-in" access

If a protective housing is equipped with an access panel which provides "walk-in" access then:

- a) means shall be provided so that any person entering the housing can prevent unintentional activation of the laser hazard, except for Class 1, 2, 3A, or 3B with not more than 5 times the AEL for Class 2 in the wavelength range from 400 nm to 700 nm;
- b) an emission warning device shall be situated so as to provide adequate warning to any person, who might be within the housing, of emission of laser radiation in excess of the AEL for Class 3A and those Class 3B lasers with not more than 5 times the AEL for Class 2 in the wavelength range from 400 nm to 700 nm.

4.13 Environmental conditions

The laser product shall meet the safety requirements defined in this standard under all expected operating conditions appropriate to the intended use of the product. Factors to be considered shall include:

- climatic conditions (e.g. temperature, relative humidity);
- vibration and shock.

If no provisions are made in the product safety standard, the relevant subclauses of IEC 61010-1 shall apply.

NOTE – Requirements related to electromagnetic susceptibility are under consideration.

4.14 Protection against other hazards

4.14.1 Non-optical hazards

The requirements of the relevant product safety standard shall be fulfilled during operation and in the event of a single fault for the following:

- electrical hazards;
- excessive temperature;
- spread of fire from the equipment;

- sons et ultrasons;
- substances dangereuses;
- explosion.

Si aucune clause n'a été prévue dans la norme de sécurité applicable à l'appareil, les paragraphes appropriés de la CEI 61010-1 doivent s'appliquer.

NOTE – De nombreux pays ont leurs réglementations sur le contrôle des substances toxiques ou nocives. Contacter l'organisme national compétent pour ces prescriptions.

4.14.2 Rayonnement connexe

L'enceinte de protection de l'appareil à laser doit normalement assurer une protection contre les rayonnements connexes (par exemple UV, visible, IR).

Cependant, s'il demeure une inquiétude concernant le risque d'un rayonnement connexe, les valeurs des EMP pour les lasers peuvent être appliquées pour minimiser ce risque.

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. La bordure, le texte et les symboles doivent être en noir sur fond jaune sauf pour la classe 1 où cette combinaison de couleurs n'est pas nécessaire.

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 l'appareil à laser de classe 1 doit être fixée une plaque indicatrice (figure 15) portant les mots:

APPAREIL À LASER DE CLASSE 1

ou à la place, à la discrétion du fabricant, la même assertion peut être reproduite dans le guide de l'utilisateur.

5.3 Classe 2

Sur tout appareil à laser de classe 2 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
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:

- sound and ultrasonics;
- harmful substances;
- explosion.

If no provisions are included in the product safety standard, the relevant subclauses of IEC 61010-1 shall apply.

NOTE – Many countries have regulations for the control of harmful substances. Contact the appropriate national agency for these requirements.

4.14.2 Collateral radiation

The protective housing of laser products will normally protect against the hazards of collateral radiation (e.g. UV, visible, IR).

However, if a concern exists that accessible collateral radiation might be hazardous, the laser MPE values may be applied to conservatively evaluate this risk.

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 except for Class 1 where this colour combination need not be used.

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) bearing the words:

CLASS 1 LASER PRODUCT

or instead, at the discretion of the manufacturer, the same statement may be included in the information for the user.

5.3 Class 2

Each Class 2 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
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:

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

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'OEIL 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 et les normes

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 émise(s). Le nom et la date de publication de la norme à laquelle l'appareil répond doivent figurer sur la plaque indicatrice ou à tout autre emplacement proche de l'appareil.

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 ces 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;

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

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 and standards information

Each laser product (except those of Class 1) shall be described on the explanatory label (figure 15) by a statement of the maximum output of laser radiation, the pulse duration (if appropriate) and the emitted wavelength(s). The name and publication date of the standard to which the product was classified shall be included on the explanatory label or elsewhere in close proximity on the product.

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) **NE PAS REGARDER DANS LE FAISCEAU
NI À L'OEIL NU 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'OEIL 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.

5.9.2 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 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».

5.11 Avertissement pour rayonnement laser visible

L'expression «rayonnement laser» figurant sur les plaques indicatrices peut être changée en «lumière laser», si l'émission laser est située dans la gamme de longueurs d'onde (visibles) de 400 nm à 700 nm.

5.12 Avertissement pour le rayonnement des DEL

Pour le rayonnement des DEL, le mot «laser» figurant sur les étiquettes mentionnées à l'article 5 doit être remplacé par «DEL».

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) 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 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 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 from 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".

5.11 Warning for visible laser radiation

The wording "laser radiation" on the explanatory labels may be modified to read "laser light" if the output of the laser is in the (visible) wavelength range from 400 nm to 700 nm.

5.12 Warning for LED radiation

For LED radiation the word "Laser" on the labels in clause 5 shall be replaced by "LED".

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) 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).

De plus, pour les appareils à laser incorporés et les autres appareils à laser intégrés dans un appareil, des renseignements identiques doivent être fournis pour décrire le laser qui est intégré. Les renseignements doivent aussi inclure les instructions de sécurité appropriées pour l'utilisateur afin de l'avertir du danger d'une exposition accidentelle au rayonnement laser.

- c) Des reproductions lisibles (couleur facultative) de toutes les indications 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 fournis 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.

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, la classification inhérente à la sécurité de chaque appareil à laser doit être mentionnée.
- 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 à tous les autres risques, ainsi qu'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 1, 2, 3 et 4. 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:

- a) Tout appareil à laser médical de classe 3B ou de classe 4 doit se conformer à la CEI 60601-2-22.
- b) Le fabricant doit fournir avec chaque appareil à laser médical les instructions spécifiant une procédure et un plan d'étalonnage du système de mesure.

- 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).

Additionally, for embedded laser products and other incorporated laser products, similar information shall be provided to describe the incorporated laser. The information shall also include appropriate safety instructions to the user to avoid inadvertent exposure to hazardous laser radiation.

- 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 Purchasing and servicing information

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

- a) In all catalogues, specification sheets and descriptive brochures, the safety classification of each laser product shall be stated.
- 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 other hazards 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 1, 2, 3 and 4. 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:

- a) Any Class 3B or Class 4 medical laser product shall comply with IEC 60601-2-22.
- b) The manufacturer shall supply with each medical laser product instructions specifying a procedure and schedule for calibration of the measurement system.

7.2 Système de transmission laser par fibre optique

Les systèmes à laser qui emploient la transmission par fibre optique doivent avoir des connexions de câbles destinées au réglage qui nécessitent l'utilisation d'un outil pour les déconnecter si la LEA des classes 1, 2 et 3A est dépassée quand la déconnexion est établie et si ces connexions de câbles font partie du capot de protection.

Il convient également de prendre soin d'incorporer des atténuateurs mécaniques de faisceau sur les connecteurs si le réglage est effectué dans une zone de travail non protégée. Un dispositif approprié permettant la détection de toute interruption de la liaison par fibre optique doit être incorporé dans les classes 4 et 3B. Ce dispositif doit immédiatement interrompre l'émission laser et déclencher au même moment un avertissement audible ou visuel.

Pour la sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques, la CEI 60825-2 s'applique.

8 Essais

8.1 Généralités

Les essais doivent tenir compte de toutes les erreurs et toutes les incertitudes statistiques dans le processus de mesure (voir la CEI 61040) 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 exécutés au cours du fonctionnement doivent être utilisés pour déterminer la classification de l'appareil. Les essais exécutés au cours de l'entretien et du réglage doivent être utilisés de manière appropriée pour déterminer les prescriptions relatives aux verrouillages de sécurité, à l'étiquetage et aux renseignements pour l'utilisateur. De tels essais doivent être exécutés pour chaque condition raisonnablement prévisible de premier défaut.

Des essais ou procédures équivalents peuvent être acceptés.

8.2 Mesure 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 laser selon 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:

- 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.
- 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.
- 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).

Dans la gamme de longueurs d'onde de 302,5 nm à 4 000 nm, le diaphragme de mesure ne doit pas être placé à une distance inférieure à 100 mm de la source apparente, avec l'exception des cas couverts par 8.2 f) et 8.2 h).

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, Class 2 and Class 3A is exceeded when disconnected, and if such cable connections form part of the protective housing.

Consideration should be given to incorporating mechanical beam attenuators at connectors if service is anticipated in an unsupervised work area. A device suitable for the detection of any optical fibre link interruption should be included in Classes 4 and 3B.

This device should immediately stop the laser emission and at the same time actuate an audible or visible warning.

For the safety of optical fibre communication systems, IEC 60825-2 applies.

8 Tests

8.1 General

Tests shall take into account all errors and statistical uncertainties in the measurement process (see IEC 61040) and increases in emission and degradation in radiation safety with age.

Specific use requirements may impose additional tests.

Tests during operation shall be used to determine the classification of the product. Tests during operation, maintenance and service shall also be used as appropriate to determine the requirements for safety interlocks, labels and information for the user. Such tests shall be made under each and every reasonably foreseeable single fault condition.

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 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).

In the wavelength range from 302,5 nm to 4 000 nm, the minimum distance of the measurement aperture shall not be less than 100 mm from the apparent source, with the exception of those cases covered by 8.2 f) and 8.2 h).

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

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

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

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

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

- g) Pour les valeurs exprimées en unité d'éclairement énergétique ($W \cdot m^{-2}$) ou d'exposition énergétique ($J \cdot m^{-2}$) en valeur moyenne sur un diaphragme de forme circulaire en fonction des ouvertures limites applicables à l'œil au tableau 7.
- h) Pour les sources dont l'angle apparent α (déterminé à une distance qui ne soit pas inférieure à 100 mm) (voir la note du point f)) est supérieur à 1,5 mrad, et dont la longueur d'onde est comprise dans la gamme de 400 nm à 1 400 nm, en mesurant la puissance rayonnante (W) ou l'énergie rayonnante (J) détectable à travers un diaphragme de forme circulaire ayant un diamètre de 7 mm situé à la distance r de la source fonction du diamètre apparent α (compris entre un minimum de 1,5 mrad et un maximum de $\alpha_{\max} = 100$ mrad) de la source.

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

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

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

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

Le diamètre d du diaphragme est déterminé par:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

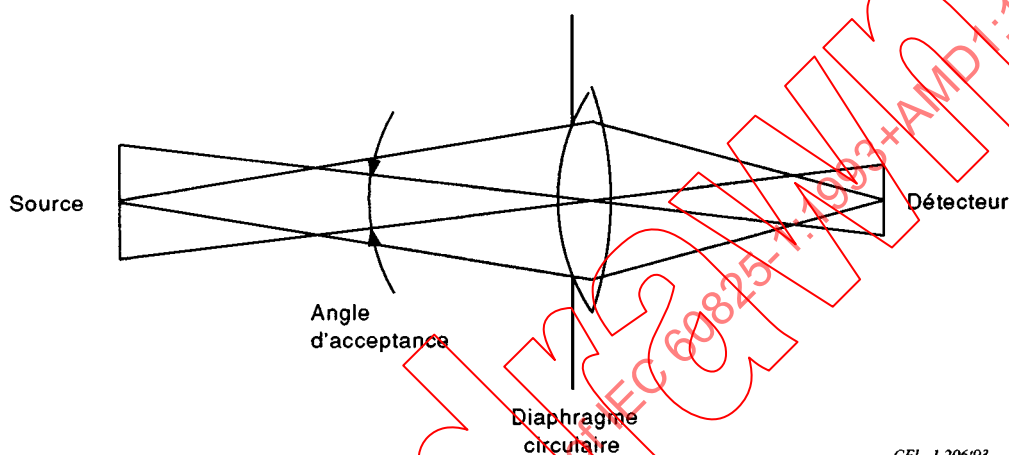
Alternatively, if a 7 mm aperture could be placed within a distance r from the apparent source, measurements can be made with a circular aperture having a diameter d between 7 mm and 50 mm depending upon the angular subtense α (between a minimum of 1,5 mrad and a maximum of $\alpha_{\max} = 100$ mrad)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

The diameter d of the measurement aperture is determined by:

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

Pour le rayonnement laser où la source apparente est constituée de multiples sources ponctuelles ou est une source linéaire dont le diamètre apparent est supérieur à $\alpha_{\min}$ et la longueur d'onde dans la gamme de 400 nm à 1 400 nm, les mesures ou les évaluations doivent être effectuées pour chaque source ponctuelle, ou ensemble de sources ponctuelles, de manière à s'assurer que la source n'excède pas la LEA pour chaque angle possible α sous-tendu par chaque aire partielle, où $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$, aussi bien que pour la source entière en utilisant un angle d'acceptance qui ne soit pas supérieur à $\alpha_{\max}$.

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



- 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) L'angle d'acceptance est $\alpha_{\max}$ (0,1 rad) pour la gamme de longueurs d'onde de 302,5 nm à 4 000 nm. Cependant, cet angle peut être plus faible pour mesurer le rayonnement laser émis par un seul élément constituant d'un ensemble (voir h) ci-dessus).
- 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.

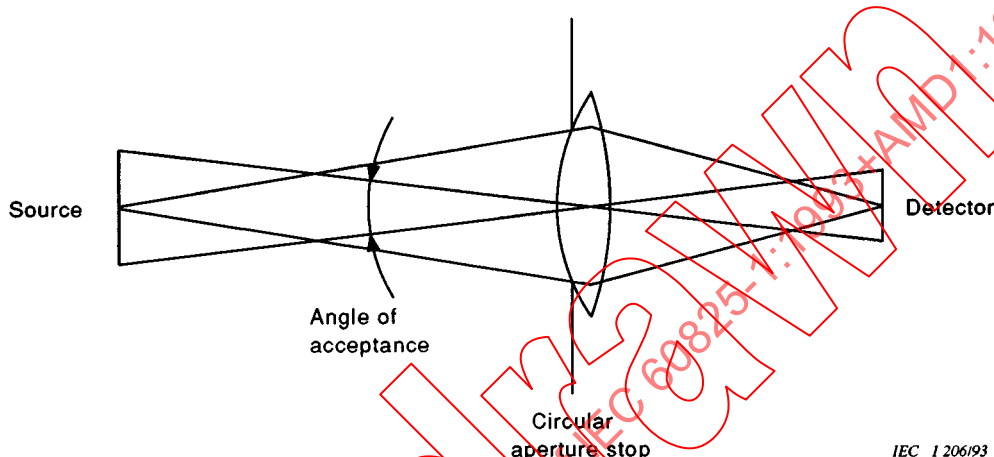
9.2 Définitions des classes laser

Classe 1: Lasers qui sont sans danger dans toutes les conditions d'utilisation raisonnablement prévisibles.

Classe 2: Lasers qui émettent un rayonnement visible dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm. La protection de l'oeil est normalement assurée par les réflexes de défense comprenant le réflexe palpébral.

For laser radiation where the apparent source consists of multiple points or is a linear source with an angular subtense greater than $\alpha_{\min}$ and within the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm, measurements or evaluations shall be made for every single point, or assembly of points, necessary to assure that the source does not exceed the AEL for each possible angle α subtended by each partial area, where $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$, as well as for the whole source using an angle of acceptance not greater than $\alpha_{\max}$.

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



- 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) The angle of acceptance is $\alpha_{\max}$ (0,1 rad) for the wavelength range from 302,5 nm to 4 000 nm. However, this angle may be less in order to measure the laser radiation from a single element of an array (see h) above).
- 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 Description of laser class

Class 1: Lasers which are safe under reasonably foreseeable conditions of operation.

Class 2: Lasers emitting visible radiation in the wavelength range from 400 nm to 700 nm. Eye protection is normally afforded by aversion responses including the blink reflex.

Classe 3A: Lasers qui sont sans danger pour la vision de l'oeil nu. Pour les lasers qui émettent un rayonnement visible dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, la protection de l'oeil est normalement assurée par les réflexes de défense comprenant le réflexe palpébral. Pour les autres longueurs d'onde le risque pour l'oeil nu n'est pas supérieur à celui de la classe 1. La vision directe dans le faisceau de lasers de la classe 3A à l'aide d'instruments optiques (par exemple: jumelles, télescopes, microscopes) peut être dangereuse.

Classe 3B: Lasers dont la vision directe du faisceau est toujours dangereuse. La vision de réflexions diffuses est normalement sans danger (voir également la note de 12.5.2 c)).

Classe 4: Lasers qui sont aussi 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 de cet appareil en cours de fonctionnement, 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 1, 2, 3 et 4.

Les valeurs des facteurs de correction utilisés sont données dans les notes aux tableaux 1 à 4 en fonction de la longueur d'onde, de la durée d'émission, du nombre d'impulsions et du diamètre apparent.

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 5, 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 5 est assigné à une classe quand le rayonnement laser passant au travers de l'ouverture dépasse les LEA de toutes les classes inférieures pour au moins une longueur d'onde mais ne dépasse pas la LEA de la classe assignée pour toute longueur d'onde.

c) Considérations 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 exposée au rayonnement laser par suite d'une défaillance, 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) Rayonnement depuis des sources étendues

Une source est considérée comme une source étendue si le diamètre apparent α de la source est plus grand que $\alpha_{\min}$ (à la différence de la plupart des sources laser).

$$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad} \quad \text{pour } t < 0,7 \text{ s}$$

Class 3A: Lasers which are safe for viewing with the unaided eye. For lasers emitting in the wavelength range from 400 nm to 700 nm, protection is afforded by aversion responses including the blink reflex. For other wavelengths the hazard to the unaided eye is no greater than for Class 1. Direct intrabeam viewing of Class 3A lasers with optical aids (e.g. binoculars, telescopes, microscopes) may be hazardous.

Class 3B: Direct intrabeam viewing of these lasers is always hazardous. Viewing diffuse reflections is normally safe (see also note to 12.5.2 c)).

Class 4: Lasers which are also 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 procedures

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 capability during operation 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 1, 2, 3 and 4 respectively.

The values of the correction factors used are given in the notes to the tables 1 to 4 as functions of wavelength, emission duration, number of pulses and angular subtense.

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 5 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 5 is assigned to a class when the laser radiation passing through the aperture exceeds the AELs of all lower classes for at least one wavelength but does not exceed the AEL for the class assigned for any wavelength.

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, 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) *Radiation from extended sources*

A source is considered an extended source when the apparent source subtends a plane angle α greater than $\alpha_{\min}$ (unlike most laser sources).

$$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad} \quad \text{for } t < 0,7 \text{ s}$$

$$\alpha_{\min} = 2 t^{3/4} \text{ mrad} \quad \text{pour } 0,7 \text{ s} \leq t < 10 \text{ s}$$

$$\alpha_{\min} = 11 \text{ mrad} \quad \text{pour } t \geq 10 \text{ s}$$

Pour une source étendue, la puissance ou l'énergie mesurée doit être inférieure à la puissance ou l'énergie permise pour la LEA, spécifiée pour cette classe, en fonction du diamètre apparent α . α doit être calculé (ou mesuré) à la plus petite distance possible de la source apparente mais pas à moins de 100 mm.

Pour les sources dont le diamètre apparent est inférieur ou égal à $\alpha_{\min}$ la LEA et l'EMP sont indépendants du diamètre apparent de la source.

e) Base de temps

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

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

9.4 Lasers modulés ou à impulsions répétitives

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.

La LEA pour les longueurs d'onde allant de 400 nm à 10^6 nm est déterminée en utilisant la plus restrictive des spécifications des points a), b) et c) 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).

- a) L'exposition à l'une quelconque des impulsions faisant partie du train ne doit pas dépasser la LEA pour une impulsion unique.
- b) 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 1, 2, 3 et 4 respectivement pour une impulsion unique de durée T .
- c) L'exposition à une impulsion quelconque comprise dans un train d'impulsions ne doit pas excéder la LEA pour une impulsion unique multipliée par le facteur de correction C_5 :

$$LEA_{\text{train}} = LEA_{\text{unique}} \times C_5^*$$

où

LEA_{train} = LEA pour une impulsion quelconque comprise dans le train d'impulsions

LEA_{unique} = LEA pour une seule impulsion

C_5 = $N^{-1/4}$

N = nombre total d'impulsions dans le train d'impulsions pendant la base de temps applicable.

Dans certains cas, il est admis que cette valeur soit inférieure à LEA qui s'appliquerait pour un fonctionnement continu à la même puissance crête en utilisant la même base de temps. Dans ces situations, il est permis d'utiliser la LEA pour un fonctionnement continu.

* C_5 s'applique uniquement pour les durées d'impulsion inférieures à 0,25 s.

$$\alpha_{\min} = 2 t^{3/4} \text{ mrad} \quad \text{for } 0,7 \text{ s} \leq t < 10 \text{ s}$$

$$\alpha_{\min} = 11 \text{ mrad} \quad \text{for } t \geq 10 \text{ s}$$

For an extended source, the power or energy measured must be below the permitted power or energy for the AEL specified for the class as a function of angle α . α shall be calculated (or measured) at the smallest possible distance from the apparent source but not less than 100 mm.

For sources subtending an angle less than or equal to $\alpha_{\min}$ the AEL and MPE are independent of the angular subtense of the source.

e) *Time basis*

The following time bases are used in this standard:

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

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.

The AEL for wavelengths from 400 nm to 10^6 nm is determined by using the most restrictive of requirements a), b) and c) 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 a pulse 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 1, 2, 3, and 4, respectively for a single pulse of duration T .
- c) The exposure from any single pulse within a pulse train shall not exceed the AEL for a single pulse multiplied by the correction factor C_5 :

$$\text{AEL}_{\text{train}} = \text{AEL}_{\text{single}} \times C_5^*$$

where:

$\text{AEL}_{\text{train}}$ = AEL for any single pulse in the pulse train

$\text{AEL}_{\text{single}}$ = AEL for a single pulse

C_5 = $N^{-1/4}$

N = number of pulses in the pulse train during the applicable time base.

In some cases this value may fall below the AEL that would apply for continuous operation at the same peak power using the same time base. Under these circumstances the AEL for continuous operation may be used.

* C_5 is only applicable to pulse durations shorter than 0,25 s.

Tableau 1 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de la classe 1

Durée d'émission t s Longueur d'onde λ nm	$< 10^{-9}$	10^{-9} à 10^{-7}	10^{-7} à $1,8 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$ à 5×10^{-5}	5×10^{-5} à 1×10^{-3}	1×10^{-3} à 3	3 à 10	10 à 10^3	10^3 à 10^4	10^4 à 3×10^4
180 à 302,5	$2,4 \times 10^4$ W	$2,4 \times 10^{-5}$ J								
302,5 à 315		$7,9 \times 10^{-7} C_1$ J ($t < T_1$)						$7,9 \times 10^{-7} C_2$ J ($t > T_1$)		
315 à 400		$7,9 \times 10^{-7} C_1$ J						$7,9 \times 10^{-3}$ J	$7,9 \times 10^{-6}$ W	
400 à 550	$200 C_6$ W	$2 \times 10^{-7} C_6$ J	$7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_6$ J	$3,9 \times 10^{-3} C_6$ J		$3,9 \times 10^{-7} C_6$ W				
550 à 700				$3,9 \times 10^{-3} C_3 C_6$ J ($t < T_2$) $7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_6$ J ($t > T_2$)		$3,9 \times 10^{-7} C_3 C_6$ W				
700 à 1 050	$200 C_4 C_6$ W	$2 \times 10^{-7} C_4 C_6$ J	$7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_4 C_6$ J					$1,2 \times 10^{-4} C_4 C_6$ W		
1 050 à 1 400	$2 \times 10^3 C_6 C_7$ W	$2 \times 10^{-6} C_6 C_7$ J			$3,5 \times 10^{-3} t^{0,75} C_6 C_7$ J				$6 \times 10^{-4} C_6 C_7$ W	
1 400 à 1 500	8×10^5 W	8×10^{-4} J				$4,4 \times 10^{-3} t^{0,25}$ J	$5,4 \times 10^{-2} t^{0,25}$ J	10^{-2} W		
1 500 à 1 800	8×10^6 W	8×10^{-3} J				$0,1$ J				
1 800 à 2 600	8×10^5 W	8×10^{-4} J				$4,4 \times 10^{-3} t^{0,25}$ J	$5,4 \times 10^{-2} t^{0,25}$ J			
2 600 à 4 000	8×10^4 W	8×10^{-5} J	$4,4 \times 10^{-3} t^{0,25}$ J							
4 000 à 10^6	10^{11} W·m ⁻²	100 J·m ⁻²	$5,6 \times 10^3 t^{0,25}$ J·m ⁻²					10^3 W·m ⁻²		
Pour les facteurs de correction et les unités, voir les «Notes sur les tableaux 1 à 4»										

Table 1 – Accessible emission limits for Class 1 laser products

Emission duration t s Wave-length λ nm	$< 10^{-9}$	10^{-9} to 10^{-7}	10^{-7} to $1,8 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$ to 5×10^{-5}	5×10^{-5} to 1×10^{-3}	1×10^{-3} to 3	3 to 10	10 to 10^3	10^3 to 10^4	10^4 to 3×10^4
180 to 302,5	$2,4 \times 10^4$ W	$2,4 \times 10^{-5}$ J								
302,5 to 315		$7,9 \times 10^{-7} C_1$ J ($t < T_1$)						$7,9 \times 10^{-7} C_2$ J ($t > T_1$)		
315 to 400		$7,9 \times 10^{-7} C_1$ J						$7,9 \times 10^{-3}$ J	$7,9 \times 10^{-6}$ W	
400 to 550	$200 C_6$ W	$2 \times 10^{-7} C_6$ J	$7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_6$ J	$7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_4 C_6$ J				$3,9 \times 10^{-3} C_6$ J		$3,9 \times 10^{-7} C_6$ W
550 to 700								$(t < T_2)$ $7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_6$ J		$3,9 \times 10^{-3} C_3 C_6$ J ($t > T_2$)
700 to 1 050	$200 C_4 C_6$ W	$2 \times 10^{-7} C_4 C_6$ J		$7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_4 C_6$ J					$1,2 \times 10^{-4} C_4 C_6$ W	
1 050 to 1 400	$2 \times 10^3 C_6 C_7$ W	$2 \times 10^{-6} C_6 C_7$ J			$3,5 \times 10^{-3} t^{0,75} C_6 C_7$ J				$6 \times 10^{-4} C_6 C_7$ W	
1 400 to 1 500	8×10^5 W	8×10^{-4} J				$4,4 \times 10^{-3} t^{0,25}$ J	$5,4 \times 10^{-2} t^{0,25}$ J	10^{-2} W		
1 500 to 1 800	8×10^6 W	8×10^{-3} J				$0,1$ J				
1 800 to 2 600	8×10^5 W	8×10^{-4} J				$4,4 \times 10^{-3} t^{0,25}$ J	$5,4 \times 10^{-2} t^{0,25}$ J			
2 600 to 4 000	8×10^4 W	8×10^{-5} J	$4,4 \times 10^{-3} t^{0,25}$ J				10^3 W·m ⁻²			
4 000 to 10^6	10^{11} W·m ⁻²	100 J·m ⁻²	$5,6 \times 10^3 t^{0,25}$ J·m ⁻²							
For correction factors and units, see "Notes to tables 1 to 4"										

Tableau 2 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de classe 2

Longueur d'onde λ nm	Durée d'émission t s	LEA pour la classe 2
400 à 700	$t < 0,25$	Même LEA que pour la classe 1
	$t \geq 0,25$	$C_6 \times 10^{-3} \text{ W}^*$
* Pour le facteur de correction et les unités, voir les «Notes sur les tableaux 1 à 4»		

IECNORM.COM Click to view the full PDF of IEC 60825-1:1993+AMD1:1997 CSV

Table 2 – Accessible emission limits for Class 2 laser products

Wavelength λ nm	Emission duration t s	Class 2 AEL
400 to 700	$t < 0,25$	Same as Class 1 AEL
	$t \geq 0,25$	$C_6 \times 10^{-3} \text{ W}^*$
* For correction factor and units see "Notes to tables 1 to 4".		

IECNORM.COM Click to view the full PDF of IEC 60825-1:1993+A1:1997 CSV

Without watermark

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

Durée d'émission t s Longueur d'onde λ nm	$< 10^{-9}$	10^{-9} à 10^{-7}	10^{-7} à $1,8 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$ à 5×10^{-5}	5×10^{-5} à 1×10^{-3}	1×10^{-3} à 0,25	0,25 à 3	3 à 10	10 à 10^3	10^3 à 3×10^4
180 à 302,5	$1,2 \times 10^5 \text{ W}$ et $3 \times 10^{10} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$1,2 \times 10^{-4} \text{ J et } 30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$								
302,5 à 315		$4 \times 10^{-6} \text{ C}_1 \text{ J et } \text{C}_1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} (t < T_1)$							$4 \times 10^{-6} \text{ C}_2 \text{ J et } \text{C}_2 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	
315 à 400		$4 \times 10^{-6} \text{ C}_1 \text{ J et } \text{C}_1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$							$4 \times 10^{-2} \text{ J}$ et $10^4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$4 \times 10^{-5} \text{ W}$ et $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
400 à 700	$1\,000 \text{ C}_6 \text{ W}$ et $5 \times 10^6 \text{ C}_6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$10^{-6} \text{ C}_6 \text{ J}$ et $5 \times 10^{-3} \text{ C}_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$3,5 \times 10^{-3} t^{0,75} \text{ C}_6 \text{ J}$ et $18 t^{0,75} \text{ C}_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$			$5 \times 10^{-3} \text{ C}_6 \text{ W}$ et $25 \text{ C}_6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$				
700 à 1 050	$1\,000 \text{ C}_4 \text{ C}_6 \text{ W}$ et $5 \times 10^6 \text{ C}_4 \text{ C}_6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$10^{-6} \text{ C}_4 \text{ C}_6 \text{ J}$ et $5 \times 10^{-3} \text{ C}_4 \text{ C}_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$3,5 \times 10^{-3} t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ C}_6 \text{ J}$ et $18 t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ C}_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$							$6 \times 10^{-4} \text{ C}_4 \text{ C}_6 \text{ W}$ et $3,2 \text{ C}_4 \text{ C}_6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
1 050 à 1 400	$10^4 \text{ C}_6 \text{ C}_7 \text{ W}$ et $5 \times 10^7 \text{ C}_6 \text{ C}_7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$10^{-5} \text{ C}_6 \text{ C}_7 \text{ J}$ et $5 \times 10^{-2} \text{ C}_6 \text{ C}_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$			$1,8 \times 10^{-2} t^{0,75} \text{ C}_6 \text{ C}_7 \text{ J}$ et $90 t^{0,75} \text{ C}_6 \text{ C}_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$3 \times 10^{-3} \text{ C}_6 \text{ C}_7 \text{ W}$ et $16 \text{ C}_6 \text{ C}_7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	
1 400 à 1 500	$4 \times 10^6 \text{ W}$ et $10^{12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$4 \times 10^{-3} \text{ J}$ et $10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$2,2 \times 10^{-2} t^{0,25} \text{ J}$ et $5\,600 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$0,27 t^{0,25} \text{ J}$ et $5\,600 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-2} \text{ W}$ et $10^3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		
1 500 à 1 800	$4 \times 10^7 \text{ W}$ et $10^{13} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$4 \times 10^{-2} \text{ J}$ and $10^4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$0,5 \text{ J}$ et $10^4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				
1 800 à 2 600	$4 \times 10^6 \text{ W}$ et $10^{12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$4 \times 10^{-3} \text{ J}$ et $10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$2,2 \times 10^{-2} t^{0,25} \text{ J}$ et $5\,600 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$0,27 t^{0,25} \text{ J}$ et $5\,600 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$			
2 600 à 4 000	$4 \times 10^5 \text{ W}$ et $10^{11} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$4 \times 10^{-4} \text{ J}$ et $100 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2} t^{0,25} \text{ J}$ et $5,6 \times 10^3 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$					$10^3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		
4 000 à 10^6	$10^{11} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$100 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$5,6 \times 10^3 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$							
Pour les corrections et les unités, voir les «Notes sur les tableaux 1 à 4»										

Table 3 – Accessible emission limits for Class 3A laser products

[illegible]

For correction factors and units, see Notes to tables 1 to 4.

Tableau 4 – Limites d'émission accessible pour les appareils à laser de la classe 3B

Durée d'émission t s Longueur d'onde λ nm	$<10^{-9}$	10^{-9} à 0,25	0,25 à 3×10^4
180 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_2 W	$1,25 \times 10^{-5}$ C_2 J	5×10^{-5} C_2 W
315 à 400	$1,25 \times 10^9$ W	0,125 J	0,5 W
400 à 700	3×10^7 W	0,03 J pour $t \leq 0,06$ s 0,5 W pour $t \geq 0,06$ s	0,5 W
700 à 1 050	3×10^7 C_4 W	0,03 C_4 pour $t < 0,06$ C_4 s 0,5 W pour $t \geq 0,06$ C_4 s	0,5 W
1 050 à 1 400	$1,5 \times 10^8$ W	0,15 J	0,5 W
1 400 à 10^6	$1,25 \times 10^8$ W	0,125 J	0,5 W
Pour les facteurs de correction et les unités, voir les «Notes sur les tableaux 1 à 4»			

Table 4 – Accessible emission limits for Class 3B laser products

Wavelength λ nm	Emission duration t s	$<10^{-9}$	10^{-9} to 0,25	0,25 to 3×10^4
180 to 302,5		$3,8 \times 10^5$ W	$3,8 \times 10^{-4}$ J	$1,5 \times 10^{-3}$ W
302,5 to 315		$1,25 \times 10^4$ C ₂ W	$1,25 \times 10^{-5}$ C ₂ J	5×10^{-5} C ₂ W
315 to 400		$1,25 \times 10^9$ W	0,125 J	0,5 W
400 to 700		3×10^7 W	0,03 J for $t < 0,06$ s 0,5 W for $t \geq 0,06$ s	0,5 W
700 to 1 050		3×10^7 C ₄ W	0,03 C ₄ for $t < 0,06$ C ₄ s 0,5 W for $t \geq 0,06$ C ₄ s	0,5 W
1 050 to 1 400		$1,5 \times 10^8$ W	0,15 J	0,5 W
1 400 to 10^6		$1,25 \times 10^8$ W	0,125 J	0,5 W
For correction factors and units, see "Notes to tables 1 to 4"				

Notes sur les tableaux 1 à 4

- 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 ou la puissance rayonnante applicable à 10^{-9} s.
- 2 Les facteurs de correction C_1 à C_7 et les valeurs de transition T_1 et T_2 utilisées dans les tableaux 1 à 4 sont définis par les expressions suivantes et représentés par les figures 1 à 8.

Paramètre	Domaine spectral nm	Figure
$C_1 = 5,6 \times 10^3 t^{0,25}$	302,5 à 400	1
$T_1 = 10^{0,8(\lambda-295)} \times 10^{-15}$ s	302,5 à 315	2
$C_2 = 10^{0,2(\lambda-295)}$	302,5 à 315	3
$T_2 = 10 \times 10^{0,02(\lambda-550)}$ s	550 à 700	4
$C_3 = 10^{0,015(\lambda-550)}$	550 à 700	5
$C_4 = 10^{0,02(\lambda-700)}$	700 à 1 050	6
$C_4 = 5$	1 050 à 1 400	6*
$C_5 = N^{-1/4}$ **	400 à 10^6	7
$C_6 = 1$ pour $\alpha \leq \alpha_{\min}$	400 à 1 400	—
$C_6 = \alpha / \alpha_{\min}$ pour $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$	400 à 1 400	—
$C_6 = \alpha_{\max} / \alpha_{\min}$ pour $\alpha > \alpha_{\max}$	400 à 1 400	—
$C_7 = 1$	1 050 à 1 150	8
$C_7 = 10^{0,018(\lambda-1150)}$	1 150 à 1 200	8
$C_7 = 8$	1 200 à 1 400	8

* Non utilisé dans les tableaux des LEA – Voir les EMP pour la peau.

** C_5 s'applique uniquement pour les durées d'impulsion inférieures à 0,25 s.

- 3 Voir tableau 7 pour les diaphragmes limites.
- 4 Dans les formules des tableaux 1 à 4 et dans ces notes, la longueur d'onde λ doit être exprimée en nanomètres et la durée d'émission t doit être exprimée en secondes.

Notes to tables 1 to 4

- 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 or the radiant power applying at 10^{-9} s.
- 2 Corrections factors C_1 to C_7 and breakpoints T_1 and T_2 used in tables 1 to 4 are defined in the following expressions and illustrated in figures 1 to 8.

Parameter	Spectral region nm	Figures
$C_1 = 5,6 \times 10^3 t^{0,25}$	302,5 to 400	1
$T_1 = 10^{0,8(\lambda-295)} \times 10^{-15}$ s	302,5 to 315	2
$C_2 = 10^{0,2(\lambda-295)}$	302,5 to 315	3
$T_2 = 10 \times 10^{0,02(\lambda-550)}$ s	550 to 700	4
$C_3 = 10^{0,015(\lambda-550)}$	550 to 700	5
$C_4 = 10^{0,02(\lambda-700)}$	700 to 1 050	6
$C_4 = 5$	1 050 to 1 400	6*
$C_5 = N^{-1/4}$ **	400 to 1 400	7
$C_6 = 1$ for $\alpha \leq \alpha_{\min}$	400 to 1 400	–
$C_6 = \alpha / \alpha_{\min}$ for $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$	400 to 1 400	–
$C_6 = \alpha_{\max} / \alpha_{\min}$ for $\alpha > \alpha_{\max}$	400 to 1 400	–
$C_7 = 1$	1 050 to 1 150	8
$C_7 = 10^{0,018(\lambda-1150)}$	1 150 to 1 200	8
$C_7 = 8$	1 200 to 1 400	8
* Not used in AEL tables. See MPEs for skin.		
** C_5 is only applicable to pulse durations shorter than 0,25 s.		

- 3 See table 7 for limiting apertures.
- 4 In the formulae in the tables 1 to 4 and in these notes, the wavelength λ has to be expressed in nanometres and the emission duration t has to be expressed in seconds.

Section trois – Guide de l'utilisateur

NOTE – En raison de la nature de ces directives, les recommandations de cette section sont énoncées en utilisant le verbe «devoir» au conditionnel en ce qui concerne les mesures de sécurité et de contrôle à prendre par l'utilisateur d'un appareil à laser sans faire de distinction entre les dangers respectifs présentés par les appareils à laser de la classe 3B ou de la classe 4. Le caractère obligatoire ou simplement recommandé de ces mesures de contrôle est laissé à l'appréciation 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 imposée au fabricant. Pour des installations où des lasers de classe supérieure à la classe 3A sont mis en oeuvre, 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 des lasers de classe 4 et de classe 3B, sauf les lasers de classe 3B présentant moins de cinq fois les LEA de la classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, devrait 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 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 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 des classes 3B et 4 devrait être protégé contre tout emploi non autorisé par l'enlèvement de la clé de commande (voir 4.5). Cette condition ne s'applique pas aux appareils à laser de la classe 3B présentant moins de cinq fois les LEA de la classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm.

Section Three – User's guide

NOTE – Because of the nature of these guidelines, this section makes recommendations with the verb "should" for safety precautions and control measures to be taken by the user of a laser product without distinguishing between the relative hazard presented by Class 3B or Class 4 lasers. It is left to the user to specify whether "should" or "shall" is to be used in the implementation of these control measures.

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 a class greater than Class 3A are operated, a laser safety officer should be appointed. If 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 a 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 Class 4 and Class 3B lasers, except of Class 3B lasers with not more than five times the AEL of Class 2 in the wavelength range from 400 nm to 700 nm, should be connected to an emergency master disconnect interlock or to room, door or fixture interlocks (see 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

Class 3B and Class 4 laser products not in use should be protected against unauthorized use by removal of the key of the key control (see 4.5). This requirement does not apply to Class 3B laser products with not more than 5 times the AEL of Class 2 in the wavelength range from 400 nm to 700 nm.

10.4 Arrêt de faisceau ou atténuateur

L'exposition involontaire des personnes présentes à des appareils à laser des classes 3B ou 4 pourrait être évitée par l'emploi d'un atténuateur de faisceau ou par l'arrêt du faisceau (voir 4.7), sauf que d'autres moyens peuvent être utilisés pour les appareils à laser de la classe 3B présentant moins de cinq fois les LEA de la classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm.

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 3B et 4.

10.6 Trajet 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.

Il convient que les trajets des faisceaux laser des classes 3B et 4 soient aussi courts que possible, qu'ils aient un nombre minimum de changements directionnels, qu'ils évitent les intersections et autres voies d'accès piétonnier et qu'ils soient, dans la mesure du possible, mis sous carter. Il convient que l'enceinte de protection du faisceau (par exemple, un tube) soit montée d'une façon sûre, mais il est préférable qu'elle ne soit pas fixée de façon rigide aux composants formant le faisceau (ni qu'elle leur serve de support).

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.

Il est nécessaire de prendre des précautions particulières pour choisir les composants optiques des lasers des classes 3B et 4, et pour conserver leurs surfaces dans un parfait état de propreté.

Des réflexions spéculaires potentiellement dangereuses se produisent au niveau de toutes les surfaces des composants optiques utilisés pour la transmission tels que lentilles, prismes, fenêtres et séparateurs de faisceaux.

Un rayonnement potentiellement dangereux est susceptible d'être aussi transmis à travers certains composants optiques réfléchissants tels que des miroirs.

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;

10.4 Beam stop or attenuator

The inadvertent exposure of bystanders to Class 3B or Class 4 laser products should be prevented by the use of the beam attenuator or beam stop (see 4.7) except that for Class 3B laser products with not more than 5 times the AEL of Class 2 in the wavelength range from 400 nm to 700 nm other means may be used.

10.5 Warning signs

The entrances to areas or protective enclosures containing 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.

The beam paths of Class 3B and 4 lasers should be as short as practicable, should have a minimum number of directional changes, should avoid crossing walkways and other access routes, and should, where practicable, be enclosed. The beam enclosure (e.g. a tube) should be securely mounted but preferably not rigidly attached to (or provide support for) beam forming components.

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.

Special care needs to be taken in the selection of optical components for Class 3B and Class 4 lasers and in maintaining the cleanliness of their surfaces.

Potentially hazardous specular reflections occur at all surfaces of transmissive optical components such as lenses, prism, windows and beam splitters.

Potentially hazardous radiation can also be transmitted through some reflective optical components such as mirrors.

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) 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 spécifiquement contre les rayonnements laser devrait être employé dans toutes les zones dangereuses où des lasers de la classe 3B ou 4 sont en service (voir article 12). Cette condition ne s'applique pas aux appareils à laser de la classe 3B présentant moins de cinq fois les LEA de la classe 2 dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm. Les autres exceptions sont:

- 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.

10.8.1 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 spectrale D_λ 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_λ mesurée à l'intérieur de la bande doit être mentionnée. La valeur de D_λ nécessaire pour assurer la protection de l'oeil peut être calculée à partir de la formule:

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

où H_0 est le niveau d'exposition prévue pour l'oeil non protégé.

10.8.3 Lunettes de protection

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.

Une attention particulière doit être accordée à la résistance et à la stabilité au rayonnement laser des protecteurs oculaires pour les lasers de classe 4.

- 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 3B or Class 4 lasers are in use (see clause 12). This requirement does not apply to Class 3B laser products with not more than 5 times the AEL of Class 2 in the wavelength range from 400 nm to 700 nm. Additional 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 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 spectral optical density D_λ 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_λ measured within the band shall be quoted. The value of D_λ 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 Protective eyewear

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).

Special attention has to be given the resistance and stability against laser radiation when choosing eyewear against Class 4 lasers.

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.

Une attention particulière doit être accordée à la résistance et à la stabilité au rayonnement laser des vêtements de protection contre les lasers de classe 4.

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'oeil et sur la peau.

Voir aussi l'article 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.

10.9 Protective clothing

Where personnel may be exposed to levels of radiation that exceed the MPE for the skin, suitable 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.

Special attention has to be given the resistance and stability against laser radiation when choosing protective clothing against Class 4 lasers.

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 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) 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.
- d) Des gaz utilisés pour aider les interactions entre le rayonnement laser et la cible, tel que l'oxygène.

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.

11.4 Agents cryogènes

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

11.5 Traitement des matériaux

Les spécifications d'un appareil à laser pour le traitement de matériaux varient en fonction de l'utilisation à laquelle il est destiné. Si l'utilisateur souhaite traiter des matériaux autres que ceux préconisés par le fabricant, il convient qu'il prête une attention particulière aux divers situations dangereuses et risques engendrés par le traitement de tels matériaux et qu'il prenne les mesures de prévention appropriées pour se prémunir, par exemple, de l'émission de fumée toxique, des risques d'incendie et d'explosion ou de la réflexion du rayonnement laser de l'élément à traiter.

11.6 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:

- 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.
- d) Gases used to assist laser-target interactions, such as oxygen.

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 flash tubes 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 5 kV may emit X-rays.

11.4 Cryogenic coolants

Cryogenic liquids may cause burns and require special handling precautions.

11.5 Materials processing

Specifications for laser products used to process materials may vary according to their intended use. If the user wishes to process materials other than those recommended by the manufacturers, he should make himself aware of the different degrees of risk and hazards associated with the processing of such materials, and take appropriate precautions to prevent, for example, the emission of toxic fumes, fire, explosion or reflection of laser radiation from the workpiece.

11.6 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) 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:

- le cadre des chantiers et des travaux publics où les mesures administratives fournissent souvent la seule attitude raisonnable pour obtenir une utilisation sans danger;
- le cadre des laboratoires et ateliers où les mesures techniques peuvent jouer le plus grand rôle;
- 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 Evaluation 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 azimuth du système laser compte tenu de la précision de pointage et s'étend, soit 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.

- 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 judgments on situations not specifically covered by this standard.

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

- outdoor and construction environments where administrative controls often provide the only reasonable approach to safe operation;
- laboratory and workshop environments where engineering controls may play the greatest role;
- 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 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 annex 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.

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 en 12.6.2.

12.5.2 Appareils à laser de la classe 3B

Des lasers de la classe 3B représentent un danger potentiel si un faisceau direct ou des réflexions spéculaires sont observés par un oeil 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 de réflexions diffuses de lasers 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 l'exposition à la réflexion diffuse avec l'exposition maximale permise (EMP).

- 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 de 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.

Il convient que les trajets des faisceaux évitent les zones de travail dans la mesure du possible et il convient de monter les longues portions des tubes à faisceaux de telle sorte que la dilatation thermique, les vibrations et autres sources de déplacement dans ces tubes n'affectent pas, de façon significative, l'alignement des composants de formation des faisceaux.

- 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'oeil est protégé. Une couleur claire et diffusante de la surface des murs contribue à remplir cette condition.

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 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 diffuse reflections for Class 3B visible lasers 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 exposure with the MPE.

- 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 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.

Beam paths should avoid work area, where possible, and long sections of tubes should be mounted so that thermal expansion, vibration, and other sources of movements in them do not significantly affect the alignment of beam forming components.

- 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) L'incendie, les aberrations induites thermiquement dans les composants optiques et la fusion ou la vaporisation de cibles solides conçues pour contenir le faisceau laser, constituent tous des risques potentiels induits par le rayonnement émis par des lasers de la classe 4. Il convient de prévoir un dispositif d'arrêt de faisceau adapté, de préférence sous la forme d'un bloc métallique convenablement refroidi ou d'une cible en graphite. Il est possible de manipuler de très fortes densités de puissance en absorbant le rayonnement au moyen de multiples réflexions, chaque surface réfléchissante étant inclinée d'un angle adéquat par rapport au rayonnement incident afin de répartir la puissance laser sur une large surface.
- 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 CO₂ de 10,6 µm).
Chaque fois que c'est possible, il convient d'utiliser un blindage local pour réduire la portée du rayonnement réfléchi.
- f) Il convient de vérifier initialement et ensuite périodiquement l'alignement des composants optiques dans le trajet d'un rayonnement laser de la classe 4.

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 oeuvre 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.
- 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 par inadvertance 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 oeuvre 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 en 12.6.2.

- d) Fire, thermally induced aberrations in optical components, and the melting or vaporization of solid targets designed to contain the laser beam, are all potential hazards induced by the radiation from Class 4 lasers. A suitable beam stop should be provided, preferably in the form of an adequately cooled metal or graphite target. Very high power densities can be handled by absorbing the radiation over several reflections, each reflecting surface being inclined at such an angle to the incident radiation as to spread the laser power over a wide area.
- 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 CO₂ wavelength of 10,6 µm.)

Local screening should be used wherever practicable to reduce the extent of reflected radiation.
- f) The alignment of optical components in the path of a Class 4 laser beam should be initially and periodically checked.

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) 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 unintentionally 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 12.6.2.

- a) Le trajet du faisceau devrait être interdit au personnel en tout point où l'éclairement 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 débattement horizontal et vertical du faisceau, etc., devraient être utilisés partout où cela est possible afin de renforcer les mesures administratives.

Une autre solution consiste à placer l'opérateur à l'intérieur d'une enceinte locale qui assure la protection contre les faisceaux erratiques et donne une bonne visibilité ambiante.

- 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 tout les cas être vu sans danger au moyen d'un matériau à réflexion diffuse sous les conditions suivantes:
- une distance minimale de vision, entre l'écran et la cornée, de 13 cm;
 - 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 de 12.6.2 devraient être suivies. Dans les cas exceptionnels où des lasers de classe 3B sont nécessaires, les prescriptions de 12.6.3 devraient être suivies. De plus, l'accès humain ne devrait pas être permis pour un rayonnement laser, dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 700 nm, avec une puissance supérieure à 5×10^{-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 longueurs d'onde.

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 6 et 8 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 5.

- a) Personnel should be excluded from the beam path at all points where the beam irradiance or radiant exposures exceed the MPEs unless they are wearing appropriate protective eyewear 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.

An alternative solution is to place the operator inside a local enclosure which provides protection from errant beams and gives good all around visibility.

- 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:
- minimum viewing distance between screen and cornea of 13 cm;
 - 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 12.6.2 should be followed. In those exceptional cases where Class 3B lasers are necessary, the requirements of 12.6.3 should be followed. In addition, human access should not be permitted to laser radiation in the wavelength range from 400 nm to 700 nm with a radiant power that exceeds 5×10^{-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 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 6 and 8 provided that:

- a) the pulse width 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 5.

**Tableau 5 – Additivité des effets sur l'oeil (o) et sur la peau (p)
de rayonnements de domaines spectraux différents**

Domaine spectral*	UV-C et UV-B 180 nm à 315 nm	UV-A 315 nm à 400 nm	Visible et IR-A 400 nm à 1 400 nm	IR-B et IR-C 1 400 nm à 10 ⁶ nm
UV-C et UV-B 180 nm à 315 nm	o p			
UV-A 315 nm à 400 nm		o p	p	o p
Visible et IR-A 400 nm à 1 400 nm		p	o p	p
IR-B et IR-C 1 400 nm à 10 ⁶ nm		o p	p	o p

* Pour les définitions des domaines spectraux, voir le tableau B1.

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 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).

13.2 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 7.

Pour des expositions à des rayonnements laser à impulsions répétitives dans le domaine spectral de 1400 à 10⁶ nm, un diaphragme de 1 mm est utilisé pour évaluer le risque d'une impulsion unique, tandis qu'un diaphragme de 3,5 mm est utilisé pour évaluer les EMP des expositions supérieures à 3 s.

NOTE – Les valeurs des expositions oculaires aux rayonnements visibles et infrarouge proche sont mesurées à travers un diaphragme de 7 mm de diamètre (pupille de l'oeil). La valeur de l'EMP ne doit pas être rectifiée pour tenir compte des diamètres de pupille plus petits.

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:

L'EMP pour des longueurs d'onde de 400 nm à 10⁶ nm est déterminée en utilisant la plus restrictive des prescriptions a), b) et c). Pour les autres longueurs d'onde, l'EMP est déterminée en utilisant la plus restrictive des prescriptions des points a) et b).

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

- L'exposition à une seule impulsion dans un train d'impulsions ne doit pas dépasser l'EMP pour une impulsion unique.
- L'exposition moyenne pour un train d'impulsions de durée T ne doit pas dépasser l'EMP donnée dans les tableaux 6 et 8 pour une impulsion unique de durée T .
- L'exposition à une impulsion quelconque comprise dans un train d'impulsions ne doit pas excéder l'EMP pour une impulsion unique multipliée par le facteur de correction C_5 .

Table 5 – Additivity of effects on eye (o) and skin (s) of radiation of different spectral regions

Spectral region*	UV-C and UV-B 180 nm to 315 nm	UV-A 315 nm to 400 nm	Visible and IR-A 400 nm to 1 400 nm	IR-B and IR-C 1 400 nm to 10 ⁶ nm
UV-C and UV-B 180 nm to 315 nm	o s			
UV-A 315 nm to 400 nm		o s	s	o s
Visible and IR-A 400 nm to 1 400 nm		s	o s	s
IR-B and IR-C 1 400 nm to 10 ⁶ nm		o s	s	o s

* For definitions of spectral regions, see table B1.

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 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 the limiting apertures are shown in table 7.

For repetitively pulsed laser exposures within the spectral range between 1 400 nm and 10⁵ nm, the 1 mm aperture is used for evaluating the hazard from an individual pulse; whereas the 3,5 mm aperture is applied for evaluating the MPE applicable for exposures greater than 3 s.

NOTE – The 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.

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.

The MPE for wavelengths from 400 nm to 10⁶ nm is determined by using the most restrictive of requirements a), b) and c). For other wavelengths, the MPE is determined by using the most restrictive of requirements a) and b).

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

- The exposure from any single pulse within a pulse train shall not exceed the MPE for a single pulse.
- The average exposure for a pulse train of duration T shall not exceed the MPE given in tables 6 and 8 for a single pulse of duration T .
- The exposure from any single pulse within a pulse train shall not exceed the MPE for a single pulse multiplied by the correction factor C_5 .

$$EMP_{\text{train}} = EMP_{\text{unique}} \times C_5^*$$

où

EMP_{train} = EMP à une impulsion quelconque comprise dans le train d'impulsions

EMP_{unique} = EMP pour une seule impulsion

C_5 = $N^{-1/4}$

N = nombre total d'impulsions prévu durant le temps d'exposition.

Dans certains cas cette valeur est susceptible d'être inférieure à l'EMP qui s'appliquerait à une émission continue de même puissance crête et de même durée. Dans ces conditions, l'EMP pour une exposition continue peut être utilisée.

13.4 Conditions de mesure

De manière à évaluer l'exposition réelle, les conditions de mesure suivantes doivent être appliquées.

13.4.1 Les valeurs exprimées en unité d'éclairement énergétique ou d'exposition énergétique doivent être exprimées en valeur moyenne au travers d'un diaphragme de forme circulaire en fonction des ouvertures limites du tableau 7. Pour des expositions oculaires, dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 1 400 nm, une distance de mesure minimale de 100 mm doit être utilisée.

13.4.2 Pour les mesures d'éclairement ou d'exposition énergétique de sources apparentes sous-tendant un angle α plus grand que $\alpha_{\min}$ et dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 1 400 nm, un diaphragme de forme circulaire ayant un diamètre de 7 mm et un angle d'acceptance égal à α doit être utilisé pour évaluer les EMP oculaires. Cependant, si $\alpha > \alpha_{\max}$, un angle d'acceptance égal à $\alpha_{\max}$ doit être utilisé.

Dans le cas où la source apparente est composée de multiples sources ponctuelles ou est une source linéaire dont le diamètre apparent est supérieur à $\alpha_{\min}$ et la longueur d'onde dans la gamme de 400 nm à 1 400 nm, les mesures ou les évaluations doivent être effectuées pour chaque source ponctuelle, ou ensemble de sources ponctuelles, de manière à s'assurer que l'exposition n'excède pas l'EMP pour chaque angle possible α sous-tendu par chaque aire partielle où $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$, aussi bien que pour la source entière en utilisant un angle d'acceptance qui ne soit pas supérieur à $\alpha_{\max}$.

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

13.5 Sources laser étendues

Les corrections suivantes des EMP relatives à la vision dans le faisceau sont, dans beaucoup de cas, limitées à l'exposition aux réflexions diffuses, bien qu'elles puissent aussi s'appliquer à des ensembles de laser ou à d'autres émissions provenant de sources laser étendues diffuses. Des exemples sont fournis dans l'annexe A.

Pour les rayonnements des sources étendues (ou la vision des réflexions diffuses) de longueur d'onde comprise entre 400 nm et 1 400 nm, les EMP relatives à la vision dans le faisceau peuvent être multipliées par le facteur de correction suivant C_6 sous réserve que le diamètre apparent α de la source (mesuré au niveau de l'oeil de l'observateur) est plus grand que $\alpha_{\min}$

* C_5 s'applique uniquement pour les durées d'impulsion inférieures à 0,25 s.

$$\text{MPE}_{\text{train}} = \text{MPE}_{\text{single}} \times C_5^*$$

where

$\text{MPE}_{\text{train}}$ = MPE for any single pulse in the pulse train

$\text{MPE}_{\text{single}}$ = MPE for a single pulse

C_5 = $N^{-1/4}$

N = number of pulses expected in an exposure.

In some cases this value may fall below the MPE that would apply for continuous exposure at the same peak power using the same exposure time. Under these circumstances the MPE for continuous exposure may be used.

13.4 Measurement conditions

In order to evaluate the actual exposure, the following measurement conditions shall be applied.

13.4.1 The values expressed in irradiance or radiant exposure shall be averaged over a circular aperture stop according to the limiting apertures of table 7. For ocular exposure in the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm, a minimum measurement distance of 100 mm shall be used.

13.4.2 For the measurements of irradiance or radiant exposure produced by apparent sources subtending an angle α greater than $\alpha_{\min}$ and within the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm, a circular measurement aperture having a diameter of 7 mm and an effective angle of acceptance equal to α shall be used for evaluating ocular MPEs. However, if $\alpha > \alpha_{\max}$, the angle of acceptance shall be equal to $\alpha_{\max}$.

In the case where the apparent source consists of multiple points, or is a linear source with an angular subtense greater than $\alpha_{\min}$ and within the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm, measurements or evaluations shall be made for every single point, or assembly of points, necessary to assure that the exposure does not exceed the MPE for each possible angle α subtended by each partial area, where $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$, as well as for the whole source using an angle of acceptance not greater than $\alpha_{\max}$.

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

13.5 Extended source lasers

The following corrections to the point source MPEs are restricted in most instances to viewing diffuse reflections, although in some cases these could apply to laser arrays or extended source diffused laser outputs. Examples are provided in annex A.

For extended source laser radiation (e.g. diffuse reflection viewing) at wavelengths from 400 nm and 1 400 nm, the intrabeam viewing MPEs can be increased by the following factor (C_6) provided that the angular subtense of the source (measured at the viewer's eye) is greater than $\alpha_{\min}$

* C_5 is only applicable to pulse durations shorter than 0,25 s.

où

$$\begin{aligned}\alpha_{\min} &= 1,5 \text{ mrad} && \text{pour } t < 0,7 \text{ s} \\ \alpha_{\min} &= 2 t^{3/4} \text{ mrad} && \text{pour } 0,7 \text{ s} \leq t < 10 \text{ s} \\ \alpha_{\min} &= 11 \text{ mrad} && \text{pour } t \geq 10 \text{ s}\end{aligned}$$

Le facteur de correction C_6 est donné par:

$$\begin{aligned}C_6 &= 1 && \text{pour } \alpha \leq \alpha_{\min} \\ C_6 &= \alpha / \alpha_{\min} && \text{pour } \alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max} \\ C_6 &= \alpha_{\max} / \alpha_{\min} && \text{pour } \alpha > \alpha_{\max}\end{aligned}$$

NOTE – Pour les lecteurs habitués aux unités radiométriques de luminance énergétique, les EMP des sources qui sous-tendent un angle supérieur à 0,1 radian (i.e. $\alpha > \alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$) sont données par les équations équivalentes suivantes:

$$\begin{aligned}L_{\text{EMP}} &= 8,5 \times 10^3 \text{ sr}^{-1} \times \text{EMP}_{\text{pt source}} && \text{si } t < 0,7 \text{ s} \\ L_{\text{EMP}} &= 6,4 \times t^{3/4} \times 10^3 \text{ sr}^{-1} \times \text{EMP}_{\text{pt source}} && \text{si } 0,7 \text{ s} \leq t < 10 \text{ s} \\ L_{\text{EMP}} &= 1,15 \times 10^3 \text{ sr}^{-1} \times \text{EMP}_{\text{pt source}} && \text{si } t \geq 10 \text{ s}\end{aligned}$$

IECNORM.COM . Click to view the full PDF of IEC 60825-1:1993+A1:1997 CSV

where

$$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad} \quad \text{for } t < 0,7 \text{ s}$$

$$\alpha_{\min} = 2 t^{3/4} \text{ mrad} \quad \text{for } 0,7 \text{ s} \leq t < 10 \text{ s}$$

$$\alpha_{\min} = 11 \text{ mrad} \quad \text{for } t \geq 10 \text{ s}$$

The correction factor C_6 is given by:

$$C_6 = 1 \quad \text{for } \alpha \leq \alpha_{\min}$$

$$C_6 = \alpha / \alpha_{\min} \quad \text{for } \alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$$

$$C_6 = \alpha_{\max} / \alpha_{\min} \quad \text{for } \alpha > \alpha_{\max}$$

NOTE – For those readers familiar with the radiometric quantity of radiance, the MPEs for sources subtending an angle greater than 0,1 radian (i.e. $\alpha > \alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$) are given in the following equivalent equations:

$$L_{\text{MPE}} = 8,5 \times 10^3 \text{ sr}^{-1} \times \text{MPE}_{\text{pt source}} \quad \text{for } t < 0,7 \text{ s}$$

$$L_{\text{MPE}} = 6,4 t^{3/4} \times 10^3 \text{ sr}^{-1} \times \text{MPE}_{\text{pt source}} \quad \text{for } 0,7 \text{ s} \leq t < 10 \text{ s}$$

$$L_{\text{MPE}} = 1,15 \times 10^3 \text{ sr}^{-1} \times \text{MPE}_{\text{pt source}} \quad \text{for } t \geq 10 \text{ s}$$

Tableau 6 – Exposition maximale permise (EMP) au niveau de la cornée pour l'exposition oculaire au rayonnement laser ¹⁾²⁾

Durée d'exposition t s Longueur d'onde λ nm	$< 10^{-9}$	10^{-9} à 10^{-7}	10^{-7} à $1,8 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$ à 5×10^{-5}	5×10^{-5} à 1×10^{-3}	1×10^{-3} à 10	10 à 10^3	10^3 à 10^4	10^4 à 3×10^4
180 à 302,5	$3 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$							
302,5 à 315		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} (t < T_1)$			$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} (t > T_1)$		$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
315 à 400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		
400 à 550	$5 \times 10^6 \text{ C}_6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-3} \text{ C}_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$18 t^{0,75} \text{ C}_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10^2 \text{ C}_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10^{-2} \text{ C}_6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
550 à 700						$10^2 \text{ C}_3 \text{ C}_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} (t > T_2)$		$10^{-2} \text{ C}_3 \text{ C}_6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
						$18 t^{0,75} \text{ C}_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} (t < T_2)$			
700 à 1 050	$5 \times 10^6 \text{ C}_4 \text{ C}_6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-3} \text{ C}_4 \text{ C}_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$18 t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ C}_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				$3,2 \text{ C}_4 \text{ C}_6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
1 050 à 1 400	$5 \times 10^7 \text{ C}_6 \text{ C}_7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-2} \text{ C}_6 \text{ C}_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$90 t^{0,75} \text{ C}_6 \text{ C}_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$16 \text{ C}_6 \text{ C}_7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
1 400 à 1 500	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		
1 500 à 1 800	$10^{13} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
1 800 à 2 600	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
2 600 à 10^6	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$						
1) Pour les facteurs de correction et les unités, voir les «Notes sur les tableaux 1 à 4». 2) 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 applicable à 10^{-9} s.									

Table 6 – Maximum permissible exposure (MPE) at the cornea for ocular exposure to laser radiation ^{1) 2)}

Wave-length λ 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 5×10^{-5}	5×10^{-5} to 1×10^{-3}	1×10^{-3} to 10	10 to 10^3	10^3 to 10^4	10^4 to 3×10^4
180 to 302,5										
302,5 to 315										
315 to 400										
400 to 550										
550 to 700										
700 to 1 050										
1 050 to 1 400										
1 400 to 1 500										
1 500 to 1 800										
1 800 to 2 600										
2 600 to 10^6										
1) For correction factors and units, see "Notes to tables 1 to 4". 2) There is only limited evidence about effects for exposures less than 10^{-9} s. The MPEs for these exposure times have been derived by maintaining the irradiance applying to 10^{-9} s.										

Domaine spectral nm	Durée s	Diamètre de diaphragme pour	
		Oeil mm	Peau mm
180 à 400	$t \leq 3 \times 10^4$	1	1
400 à 1 400	$t \leq 3 \times 10^4$	7	3,5
1 400 à 10^5	$t \leq 3$	1	1
1 400 à 10^5	$t > 3$	3,5	3,5
10^5 à 10^6	$t \leq 3 \times 10^4$	11	11

Durée d'exposition t s					
Longueur d'onde λ nm	$< 10^{-9}$	10^{-9} à 10^{-7}	10^{-7} à 10	10 à 10^3	10^3 à 3×10^4
180 à 302,5	$3 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
302,5 à 315		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t < T_1$)	$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t > T_1$)	$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	
315 à 400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
400 à 700	$2 \times 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \times 10^4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
700 à 1 400	$2 \times 10^{11} C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \times 10^4 C_4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2\,000 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
1 400 à 10^6	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 3)	

1) Pour les facteurs de correction et les unités, voir «Notes sur les tableaux 1 à 4»

2) 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, applicable à 10^{-9} s.

3) Pour des surfaces de peau exposées supérieures à $0,1 \text{ m}^2$, l'EMP est limitée à $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Pour des surfaces comprises entre $0,01 \text{ m}^2$ et $0,1 \text{ m}^2$, l'EMP varie de manière inversement proportionnelle à la surface de peau exposée.

Table 7 – Aperture diameter applicable to measuring laser irradiance and radiant exposure

Spectral region nm	Duration s	Aperture diameter for	
		Eye mm	Skin mm
180 to 400	$t \leq 3 \times 10^4$	1	1
400 to 1 400	$t \leq 3 \times 10^4$	7	3,5
1 400 to 10^5	$t \leq 3$	1	1
1 400 to 10^5	$t > 3$	3,5	3,5
10^5 to 10^6	$t \leq 3 \times 10^4$	11	11

Table 8 – Maximum permissible exposure (MPE) of skin to laser radiation^{1) 2)}

Exposure time t s Wave-length λ nm	$<10^{-9}$	10^{-9} to 10^{-7}	10^{-7} to 10	10 to 10^3	10^3 to 3×10^4
180 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 700	$2 \times 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \times 10^4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
700 to 1 400	$2 \times 10^{11} C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \times 10^4 C_4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2000 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
1 400 to 10^6	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ }^3)$	
1) For correction factors and units see "Notes to tables 1 to 4". 2) There is only limited evidence about effects for exposures of less than 10^{-9} s. The MPEs for these exposure times have been derived by maintaining the irradiance applying at 10^{-9} s. 3) For exposed skin areas greater than $0,1 \text{ m}^2$, the MPE is reduced to $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Between $0,01 \text{ m}^2$ and $0,1 \text{ m}^2$, the MPE varies inversely proportional to the irradiated skin area.					

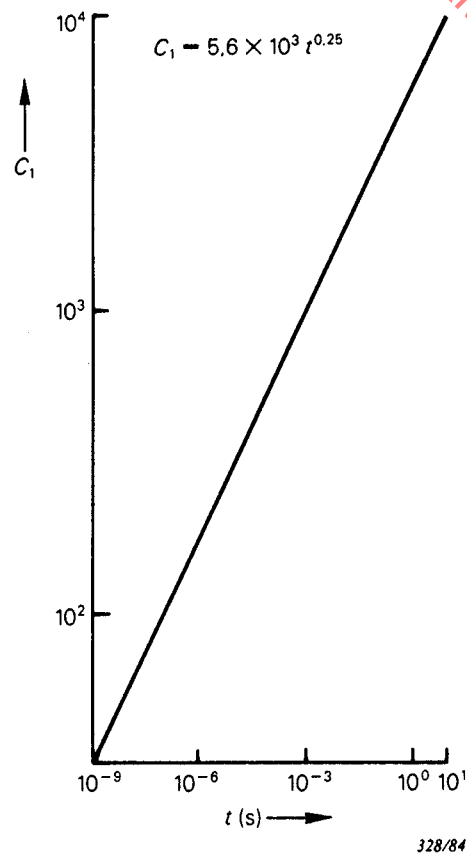


Figure 1 – Facteur de correction C_1 pour des durées d'émission de 10^{-9} s à 10 s

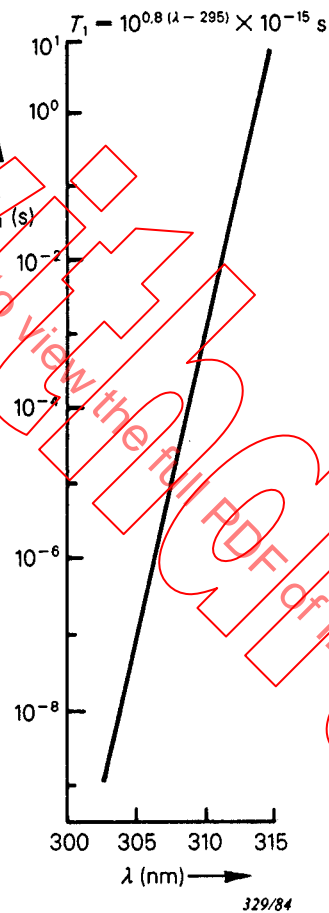


Figure 2 – Valeur de transmission T_1 pour $\lambda = 302,5$ nm à 315 nm

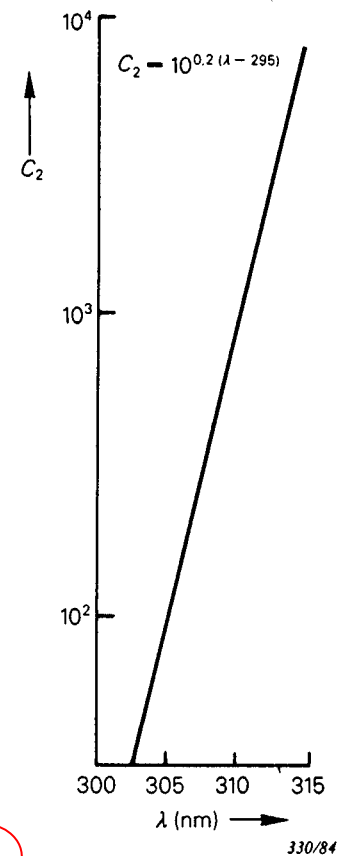


Figure 3 – Facteur de correction C_2 pour $\lambda = 302,5$ nm à 315 nm

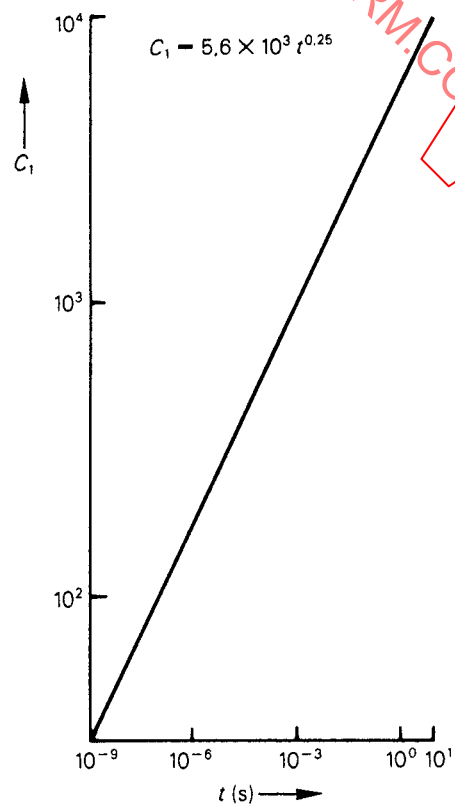


Figure 1 – Correction factor C_1 for emission durations from 10^{-9} s to 10 s

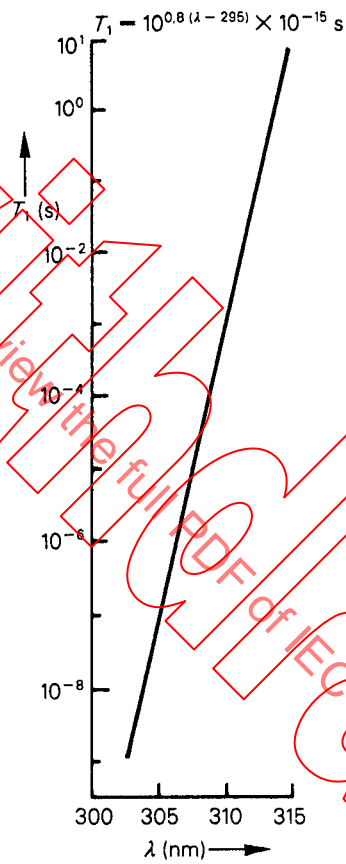


Figure 2 – Breakpoint T_1 for $\lambda = 302,5$ nm to 315 nm

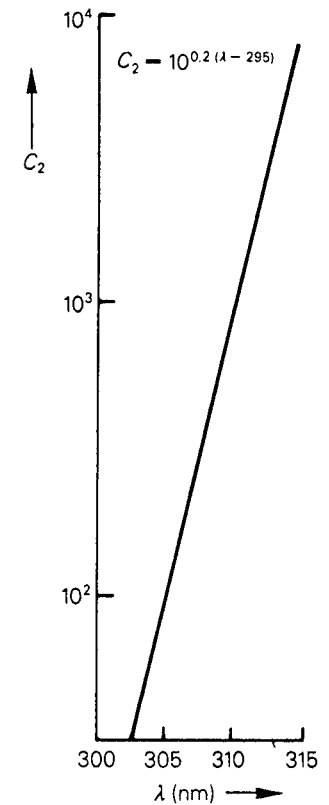


Figure 3 – Correction factor C_2 for $\lambda = 302,5$ nm to 315 nm

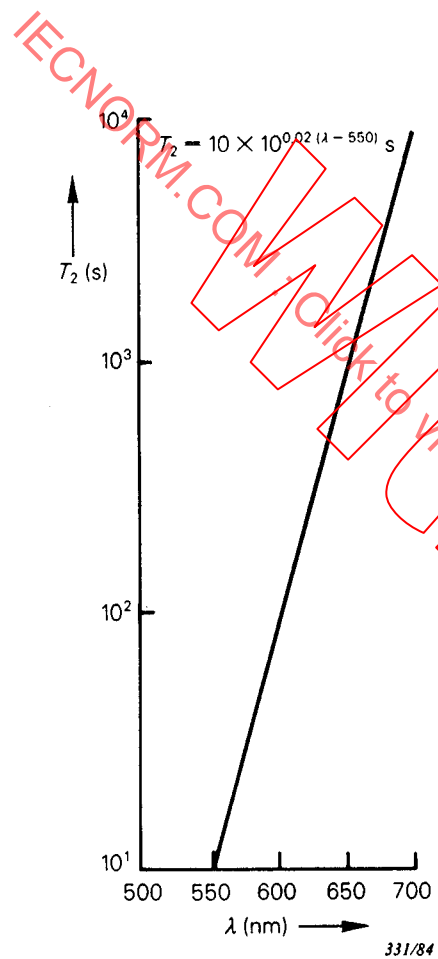


Figure 4 – Valeur de transition T_2
pour $\lambda = 550 \text{ nm}$ à 700 nm



Figure 5 – Facteur de correction C_3
pour $\lambda = 550 \text{ nm}$ à 700 nm



Figure 4 – Breakpoint T_2
for $\lambda = 550 \text{ nm}$ to 700 nm

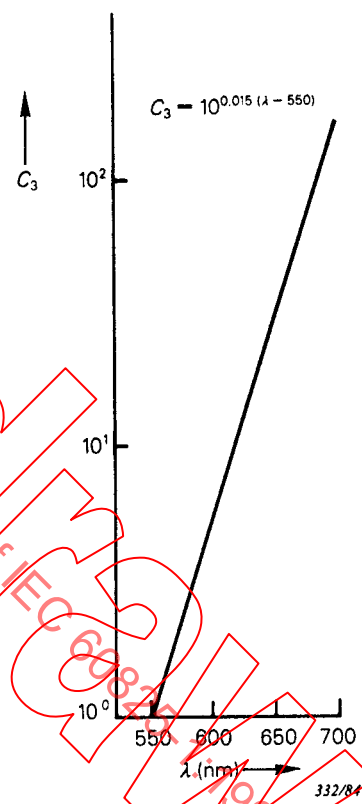


Figure 5 – Correction factor C_3
for $\lambda = 550 \text{ nm}$ to 700 nm

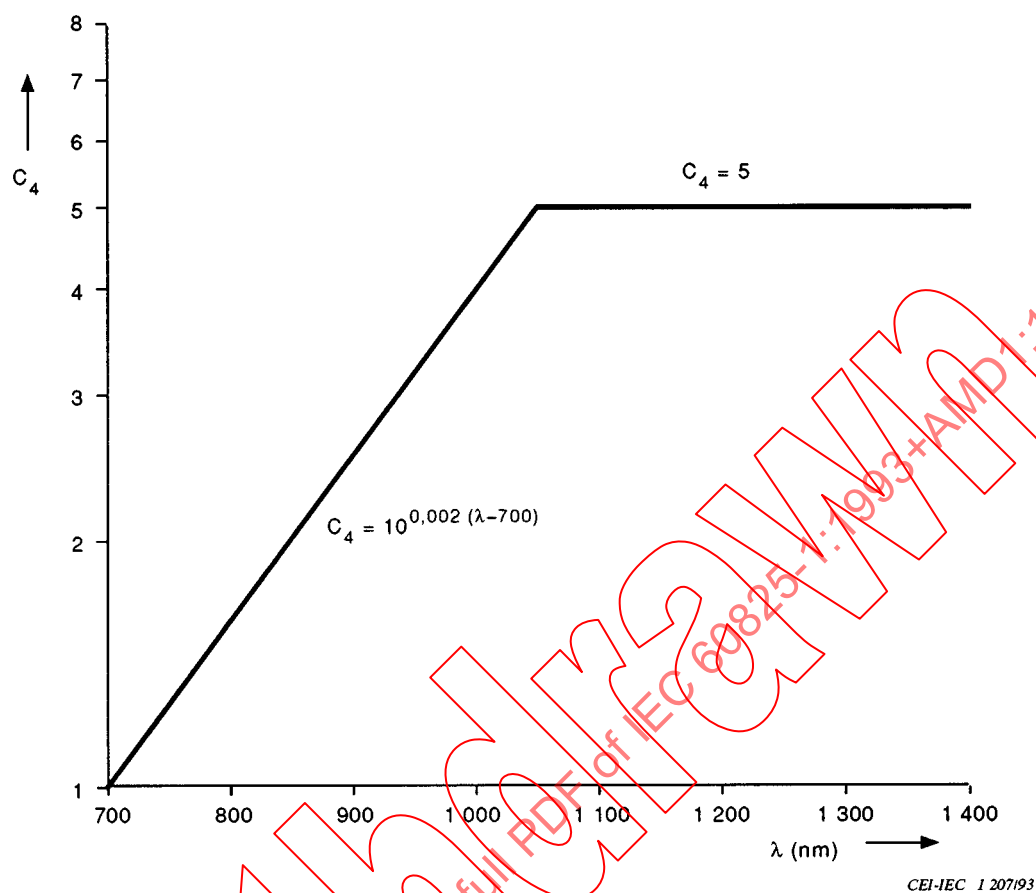


Figure 6 – Facteur de correction C_4 pour $\lambda = 700$ nm à 1 400 nm

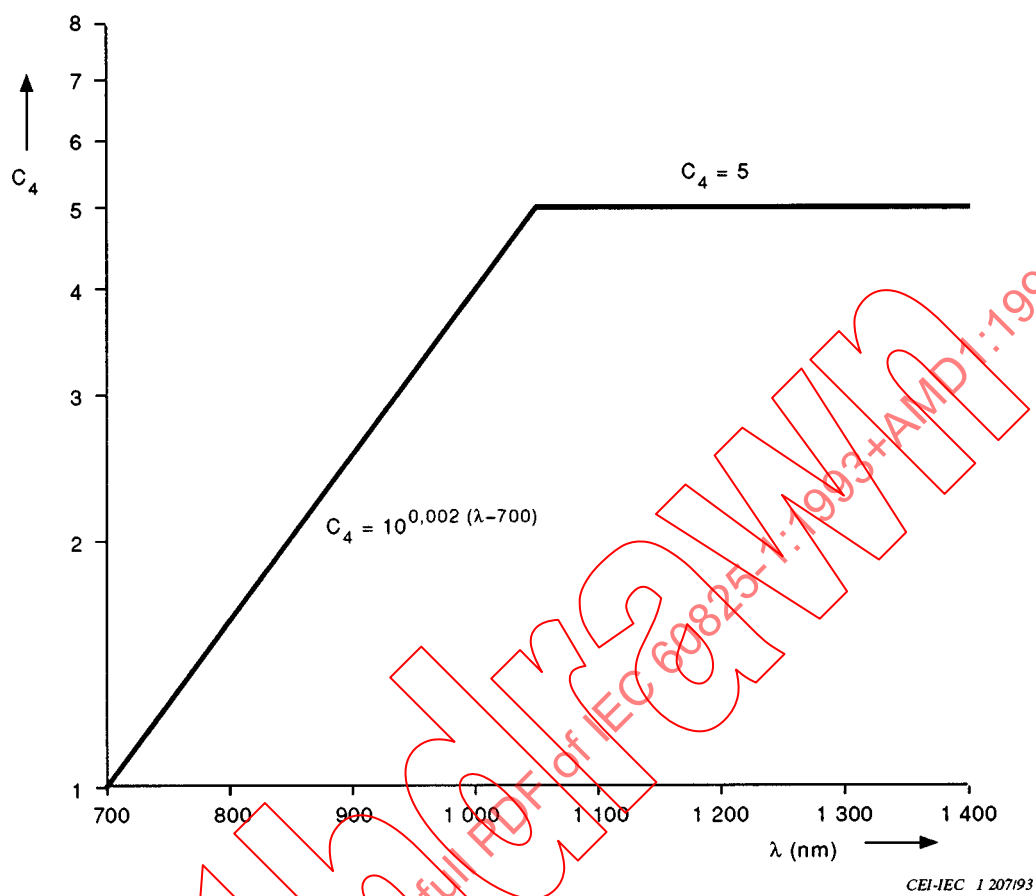


Figure 6 – Correction factor C_4 for $\lambda = 700$ nm to 1 400 nm

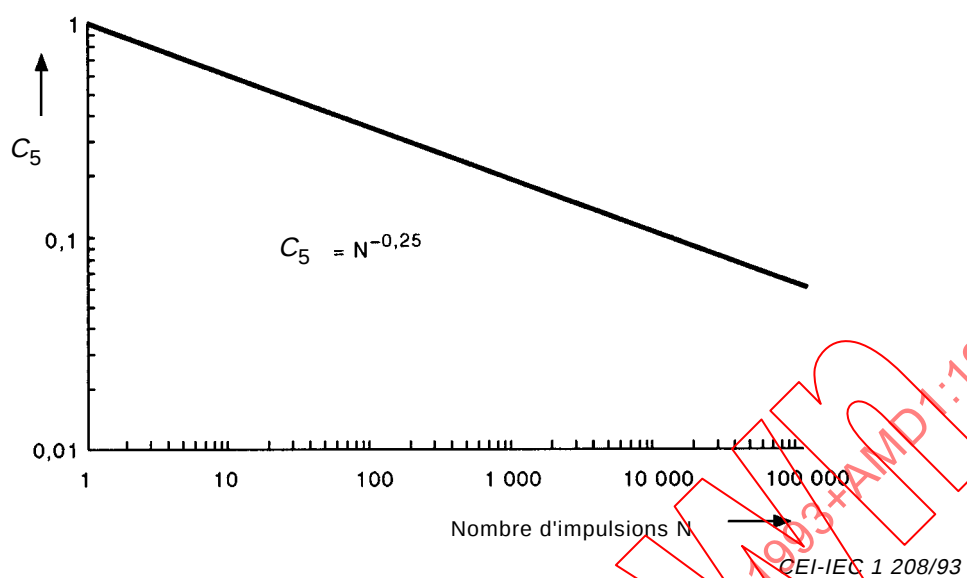


Figure 7 – Facteur de correction C_5 illustré pour N (nombre d'impulsions) compris entre 1 et 100 000

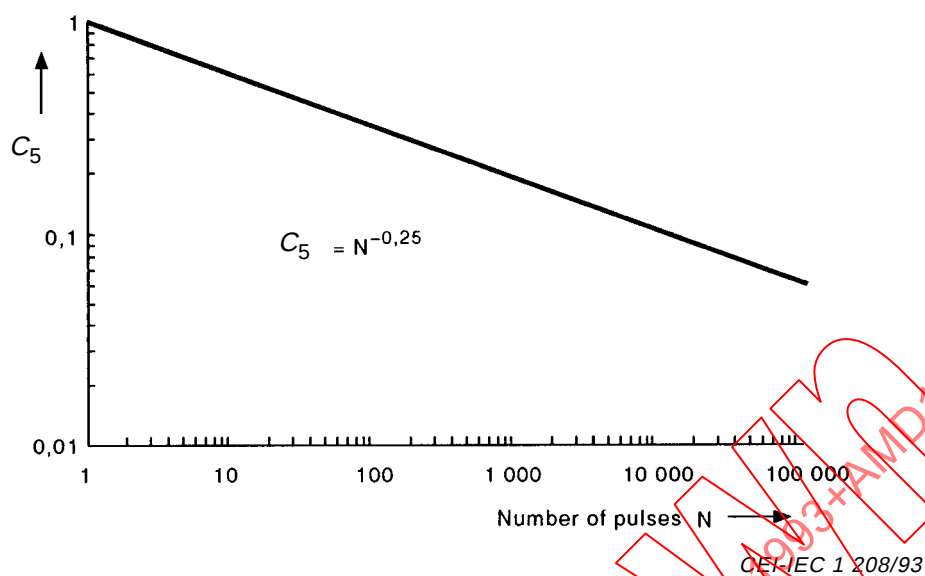


Figure 7 – Correction factor C_5 shown for N (number of pulses) between 1 and 100 000

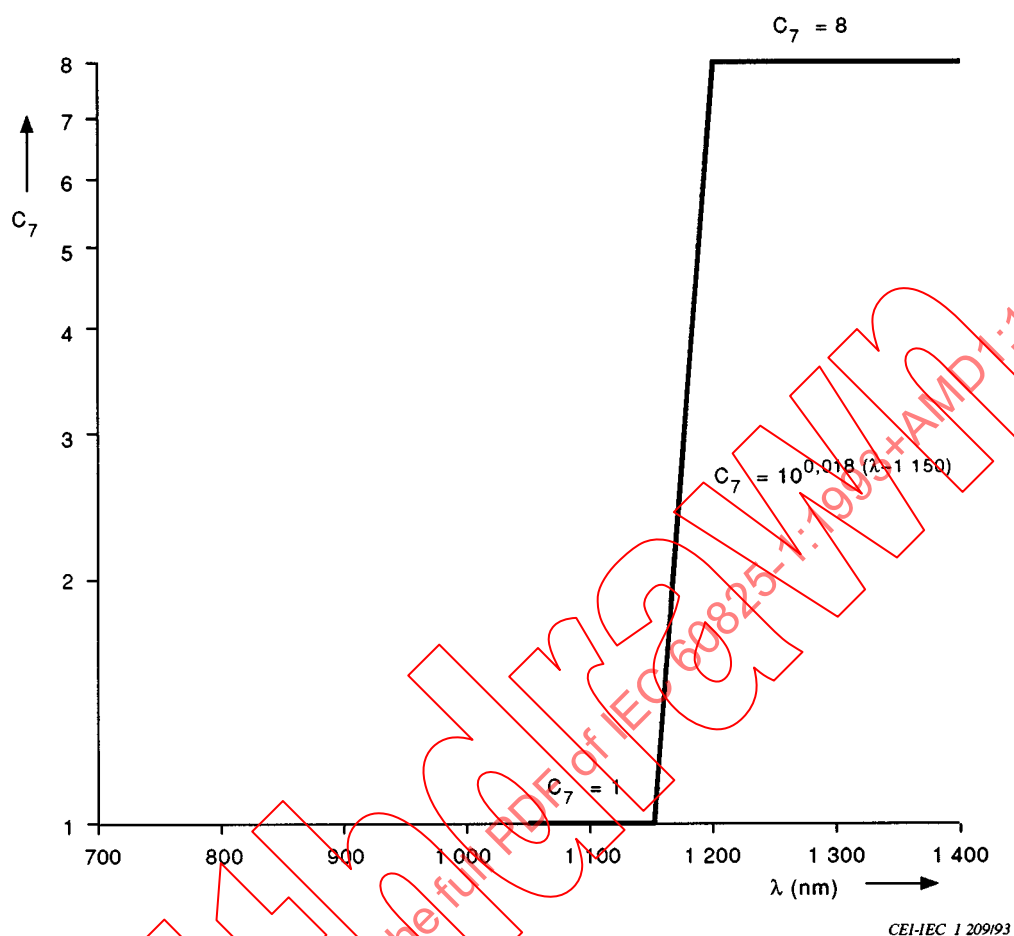


Figure 8 – Facteur de correction C_7 pour $\lambda = 1\,050$ nm à $1\,400$ nm

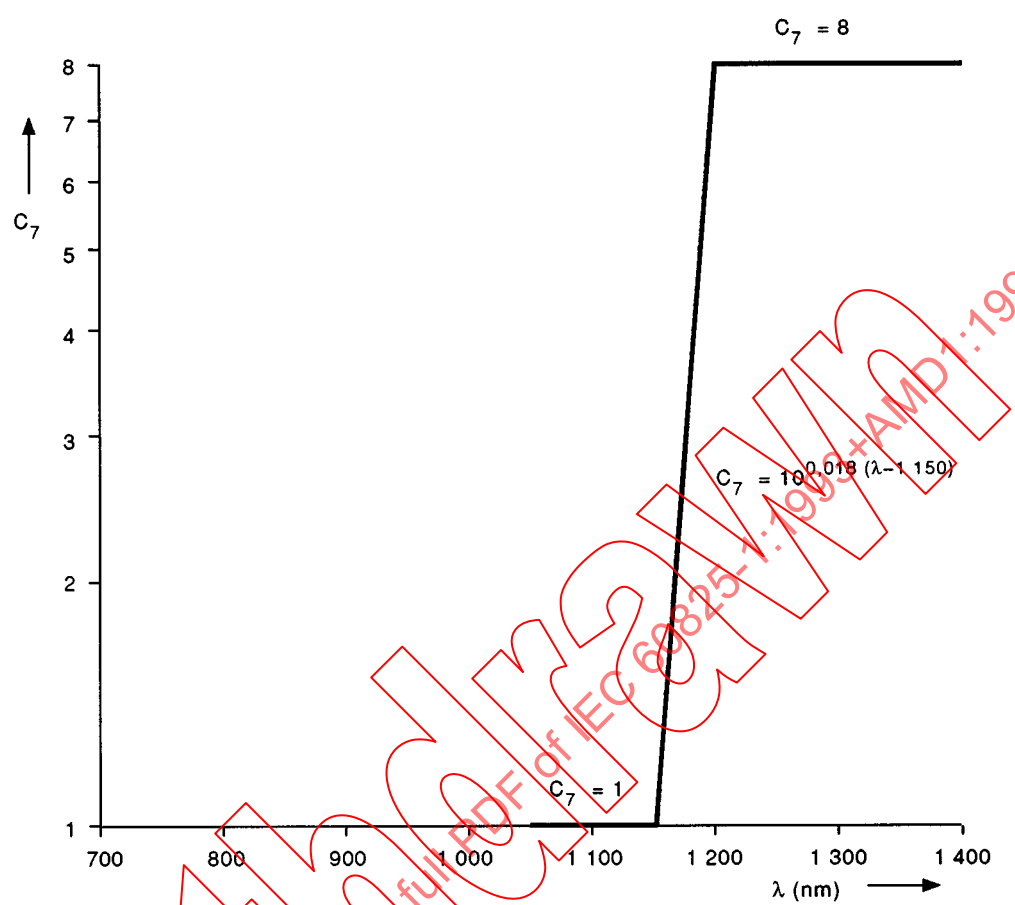


Figure 8 – Correction factor C_7 for $\lambda = 1\,050$ nm to $1\,400$ nm

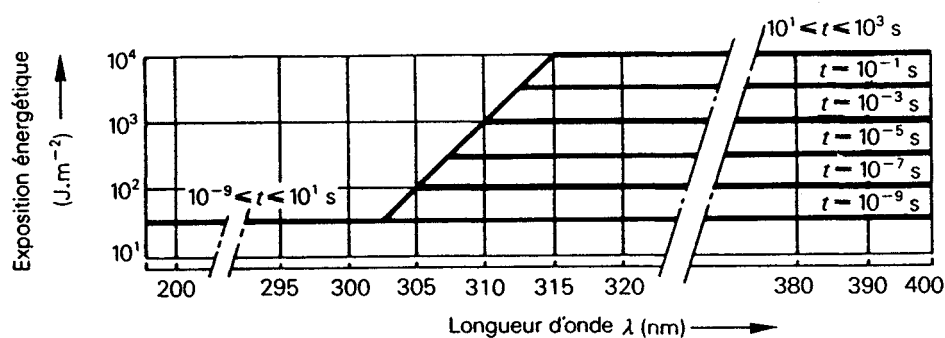


Figure 9a – EMP pour l'exposition oculaire directe au rayonnement ultraviolet à des durées d'émission choisies de 10^{-9} s à 10^3 s



Figure 9b – EMP pour l'exposition oculaire directe au rayonnement ultraviolet à des durées d'exposition de 10^{-9} s à 10^3 s à des longueurs d'onde choisies

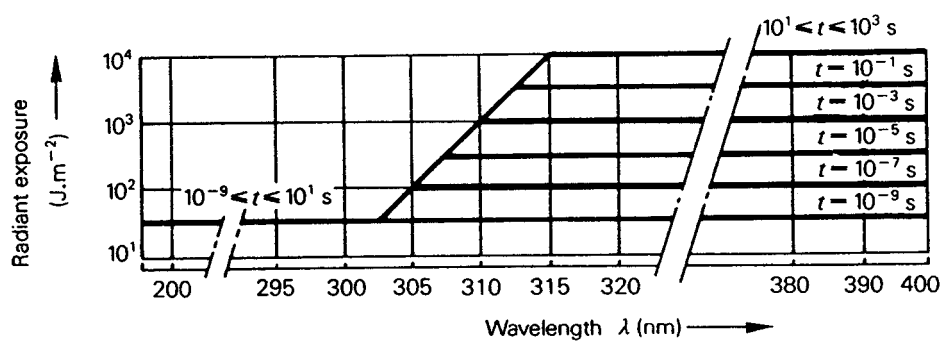


Figure 9a – MPE for direct ocular exposure to ultra-violet radiation at selected emission durations from 10^{-9} s to 10^3 s

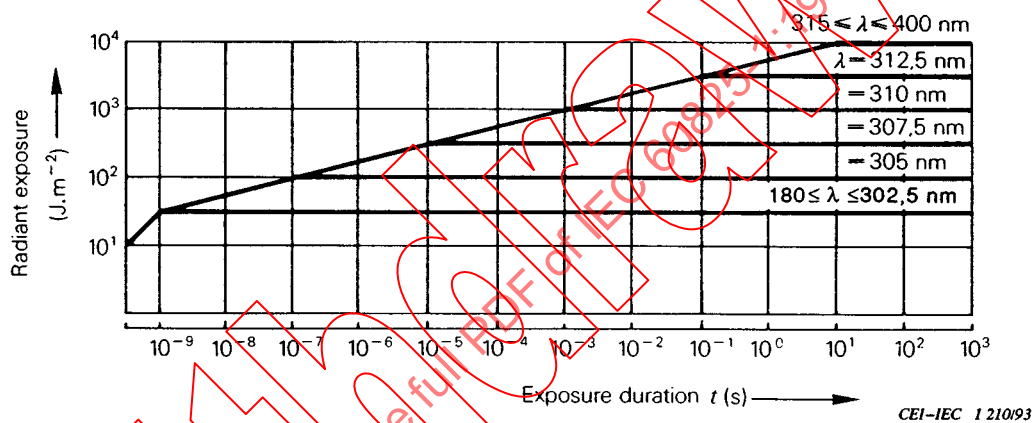


Figure 9b – MPE for direct ocular exposure to ultra-violet radiation for exposure durations from 10^{-9} s to 10^3 s at selected wavelengths

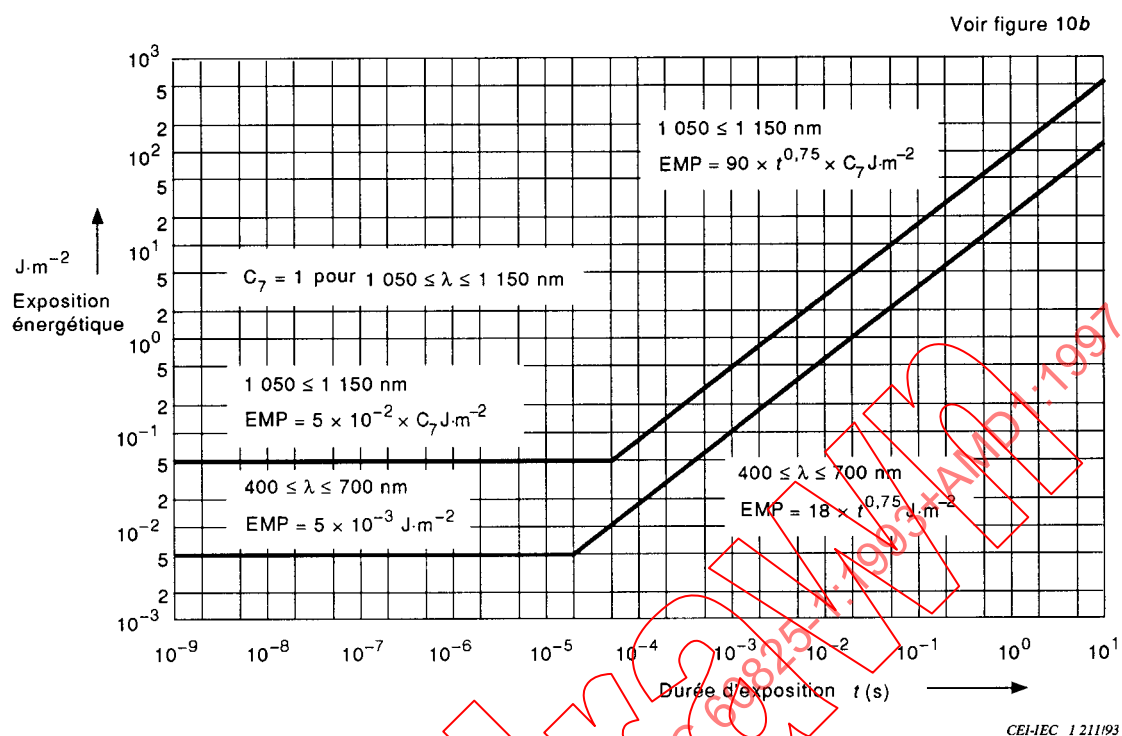


Figure 10a – EMP pour l'exposition oculaire directe ($C_6 = 1$) à un rayonnement visible ($400 \text{ nm} \leq \lambda < 700 \text{ nm}$) et pour certaines longueurs d'onde du domaine infrarouge ($1 050 \text{ nm} \leq \lambda < 1 150 \text{ nm}$), vision dans le faisceau pour des expositions ou des impulsions uniques

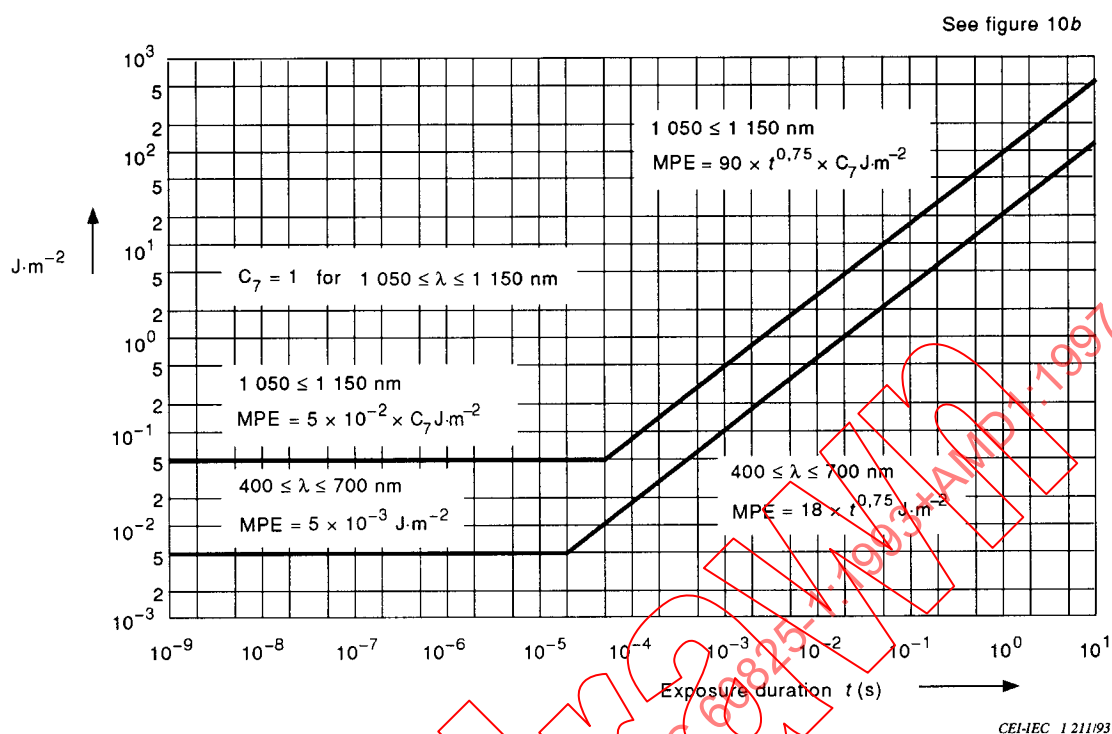


Figure 10a – MEP for direct ocular exposure ($C_6 = 1$) to visible radiation ($400 \text{ nm} \leq \lambda < 700 \text{ nm}$) and selected infra-red radiation ($1\,050 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,150 \text{ nm}$), intrabeam viewing, for single pulses or exposures

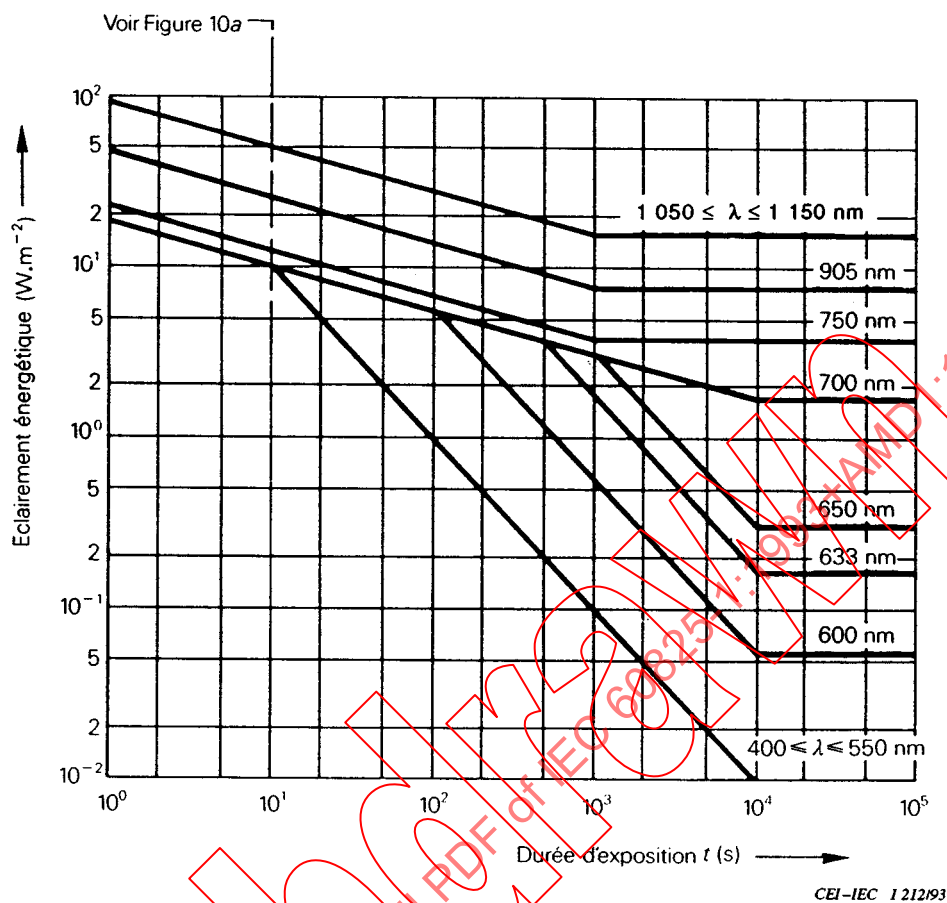


Figure 10b – EMP pour l'exposition oculaire directe ($C_6 = 1$) pour des durées d'exposition supérieures à 1 s pour des longueurs d'onde choisies entre 400 nm et 1 150 nm

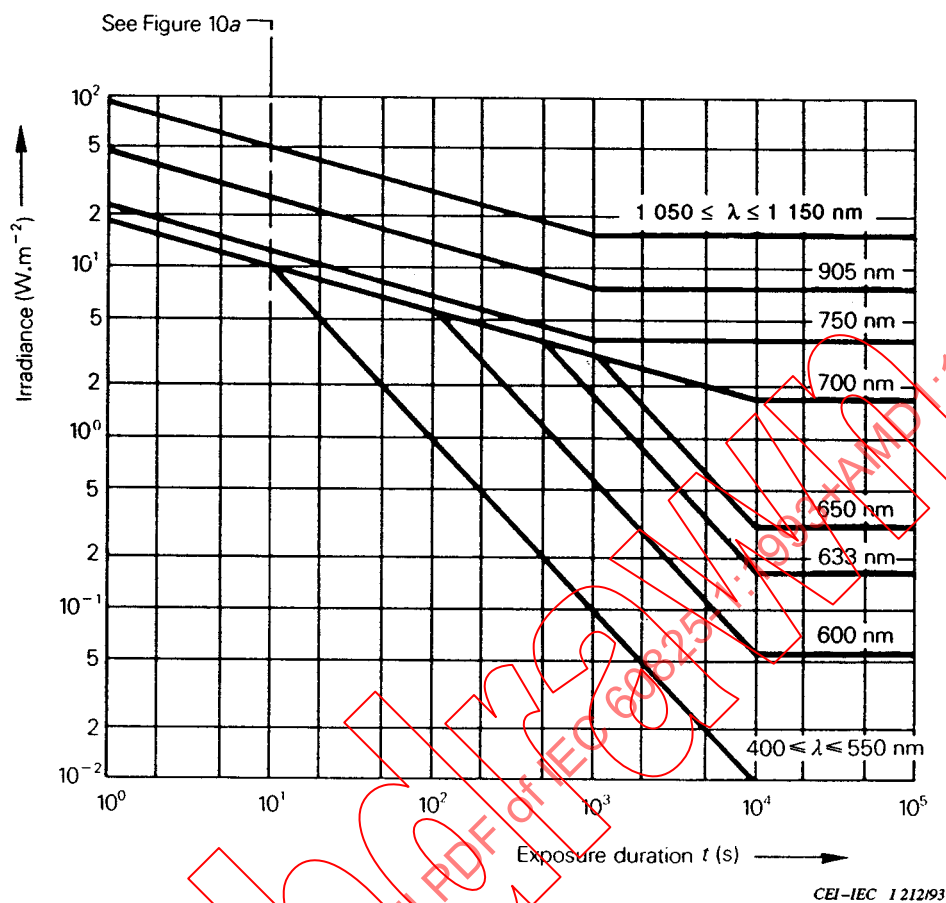


Figure 10b – MPE for direct ocular exposure ($C_6 = 1$) for exposure durations greater than 1 s for selected wavelengths between 400 nm and 1 150 nm

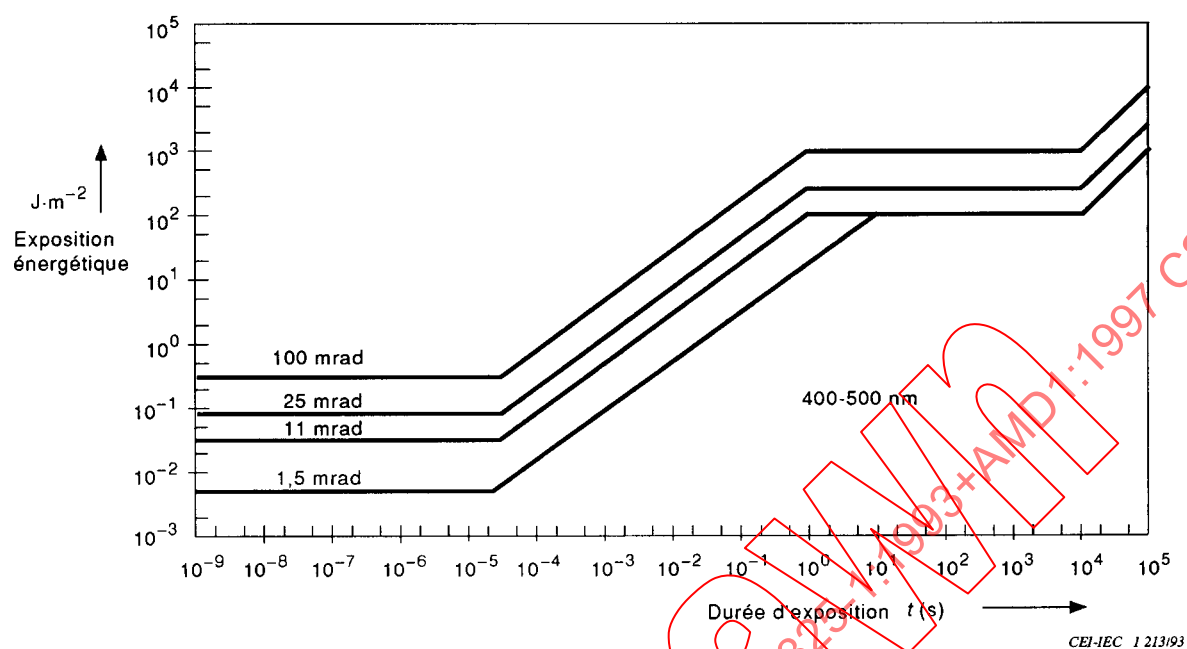


Figure 11 – EMP pour l'exposition oculaire ($\lambda = 400 \text{ nm}$ à 550 nm) à une impulsion unique et à un rayonnement d'émission continue à des diamètres apparents de la source choisis

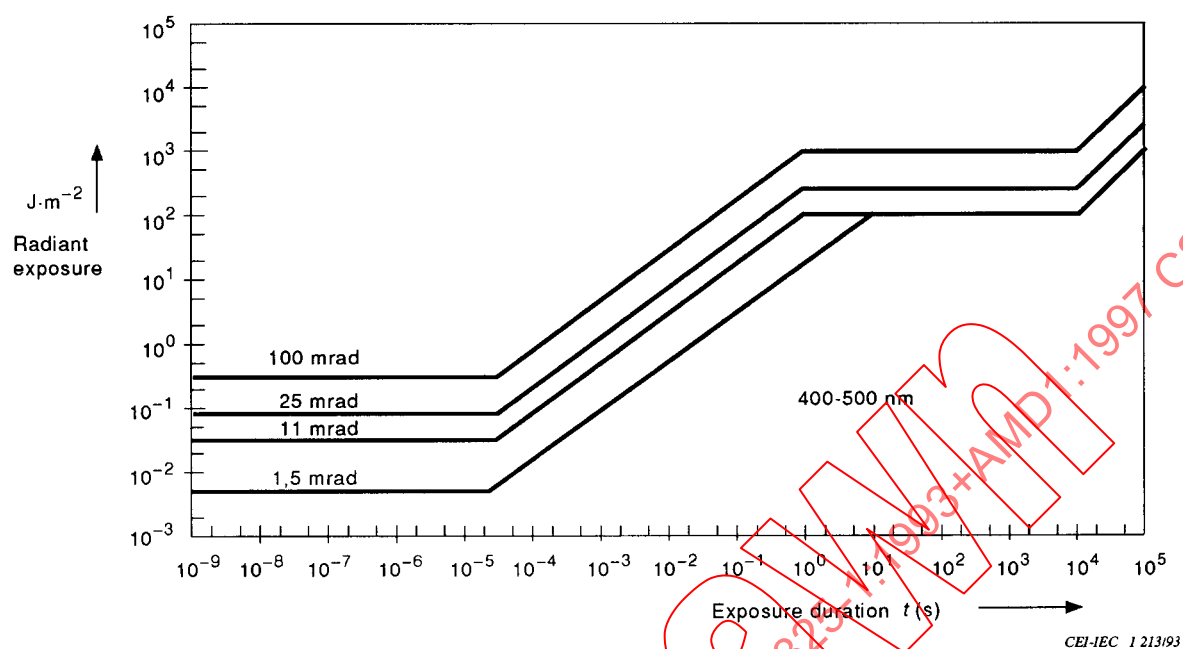


Figure 11 – MPE for ocular exposure ($\lambda = 400 \text{ nm}$ to 550 nm) to a single pulse and CW radiation at selected angular subtenses of the source

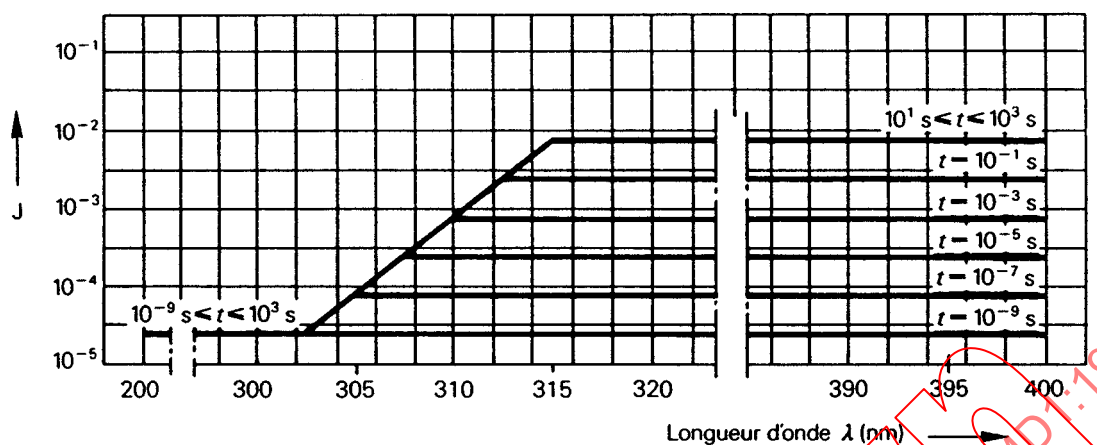


Figure 12a – LEA pour des appareils à laser à ultraviolet de classe 1 pour des durées d'émission choisies de 10^{-9} s à 10^3 s

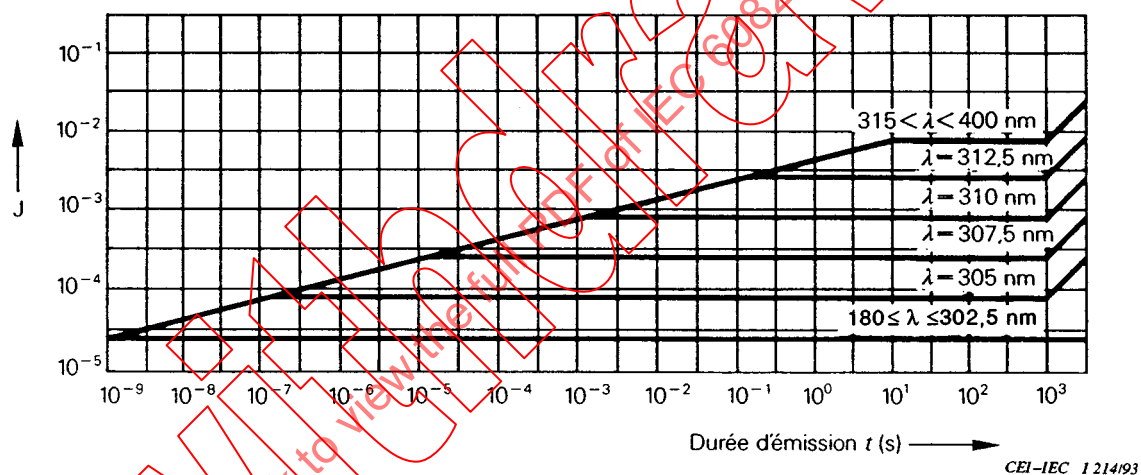


Figure 12b – LEA pour des appareils à laser à ultraviolet de classe 1 pour des durées d'émission de 10^{-9} s à 10^3 s à des longueurs d'onde choisies

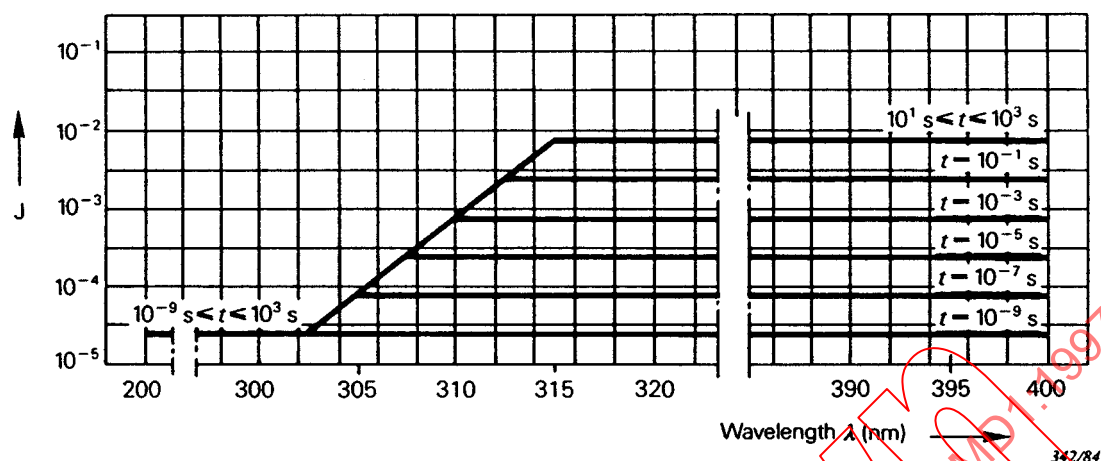


Figure 12a – AEL for Class 1 ultra-violet laser products for selected emission durations from 10^{-9} s to 10^3 s

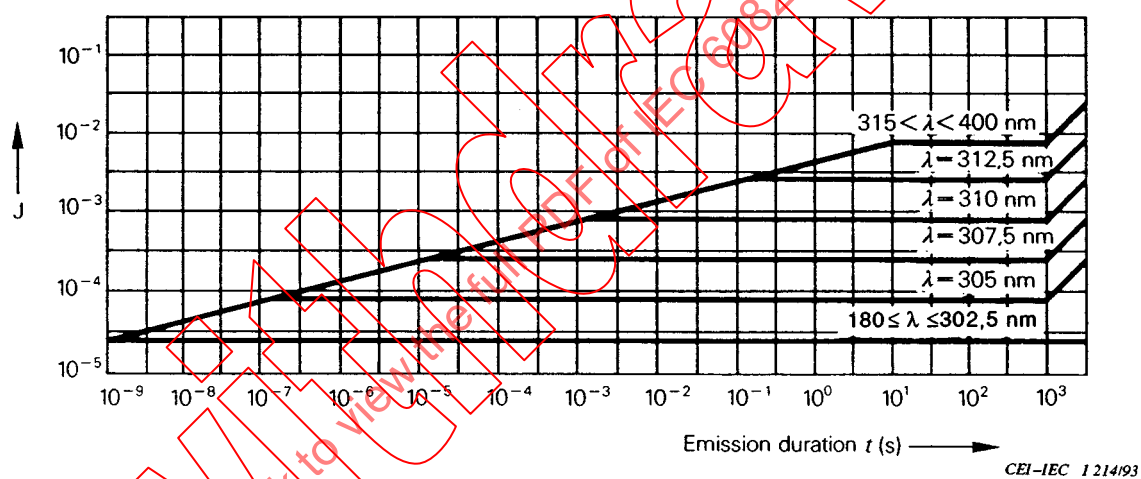
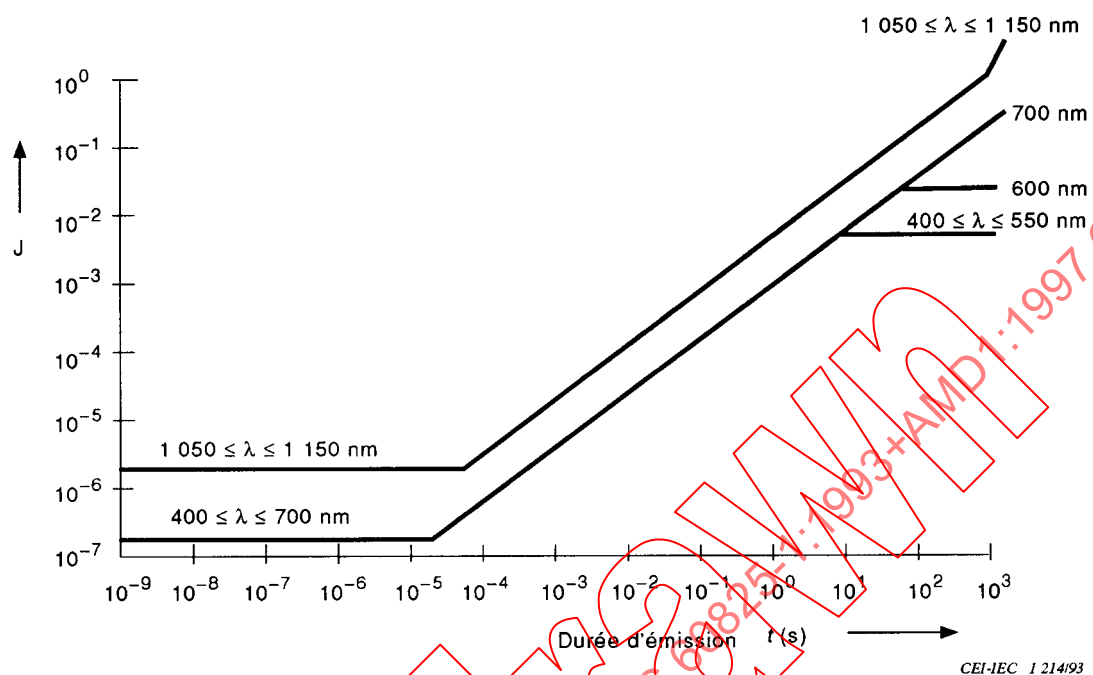


Figure 12b – AEL for Class 1 ultra-violet laser products for emission durations from 10^{-9} s to 10^3 s at selected wavelengths



NOTE – Les LEA pour certains lasers à impulsions répétitives peuvent être inférieures à ces valeurs.

Figure 13 – LEA pour appareils à laser de classe 1 dans le domaine visible et pour certaines longueurs d'onde du domaine infrarouge (cas $C_6 = 1$)

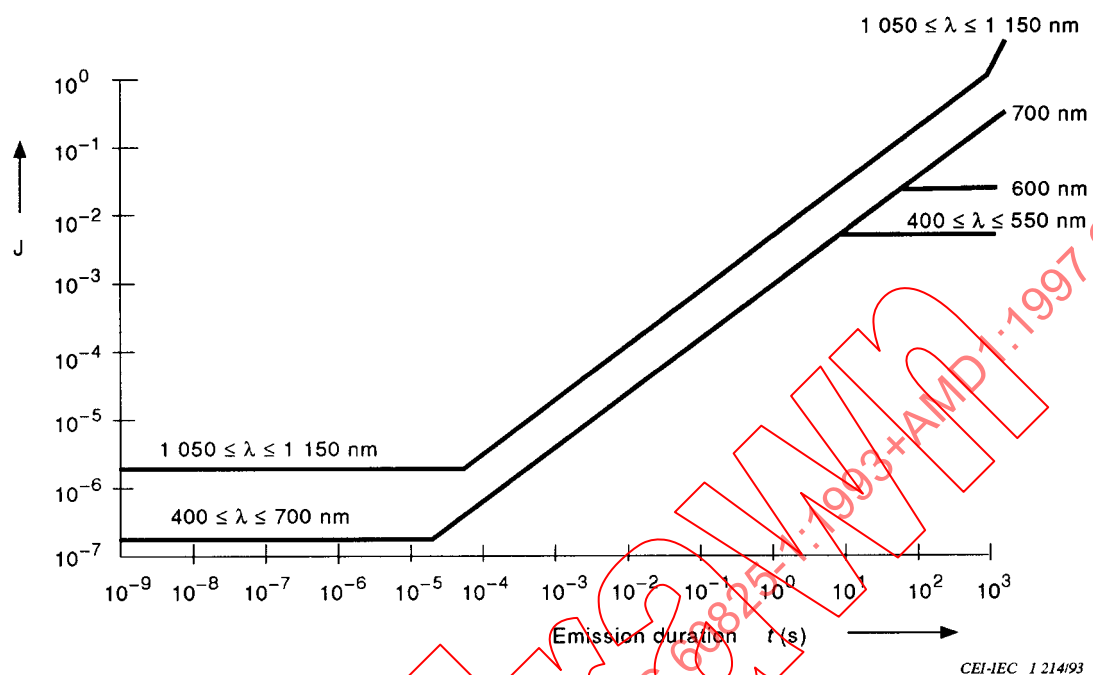
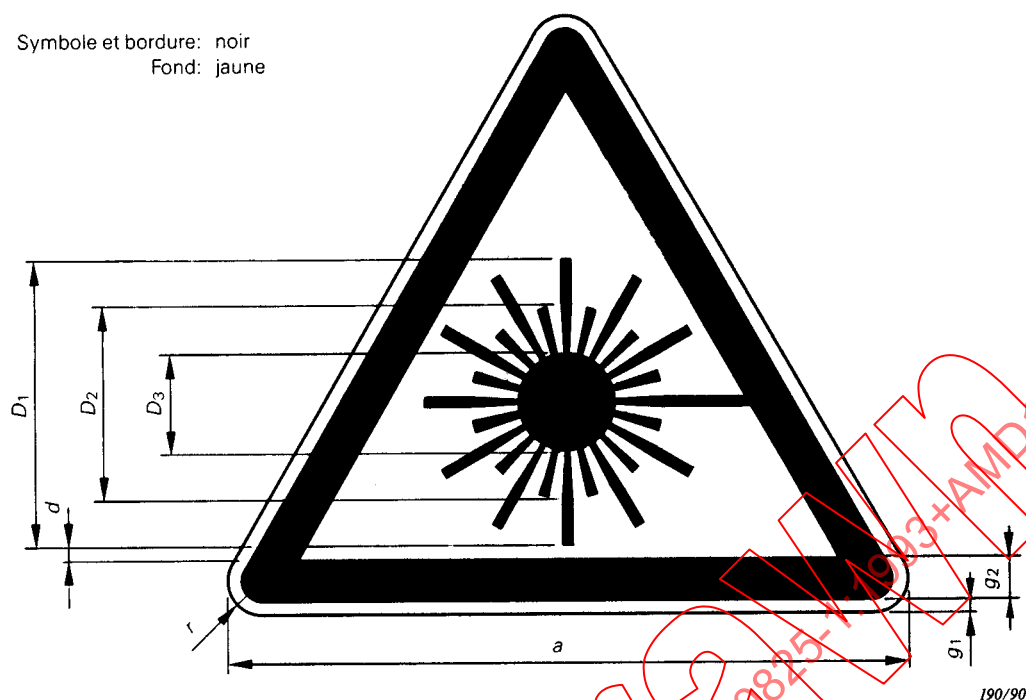


Figure 13 – AEL for Class 1 visible and selected infra-red laser products (case $C_6 = 1$)

Symbole et bordure: noir
Fond: jaune



Dimensions en millimètres

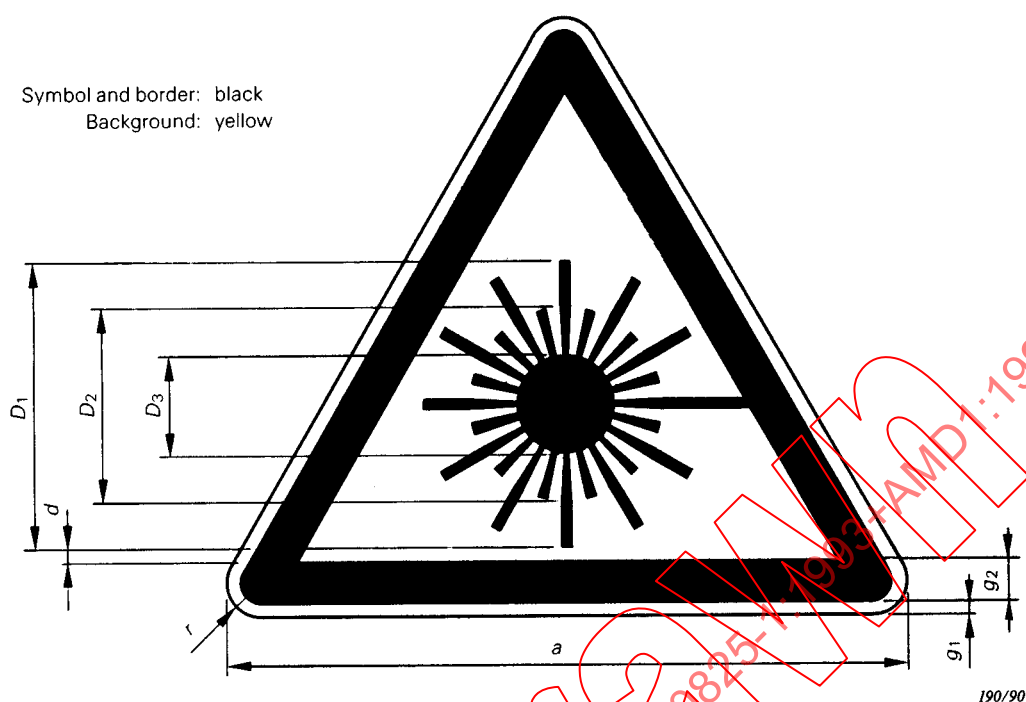
a	g_1	g_2	r	D_1	D_2	D_3	d
25	0,5	1,5	1,25	10,5	7	3,5	0,5
50	1	3	2,5	21	14	7	1
100	2	6	5	42	28	14	2
150	3	9	7,5	63	42	21	3
200	4	12	10	84	56	28	4
400	8	24	20	168	112	56	8
600	12	36	30	252	168	84	12

Les dimensions D_1 , D_2 , D_3 , g_1 et d sont des valeurs recommandées.

NOTE 1 – L'aire minimale A de la plaque est liée à la plus grande distance L à laquelle la plaque doit pouvoir être comprise, par la formule: $A = L^2/2\ 000$ où A et L sont exprimés, respectivement, en mètres carrés et en mètres. Cette formule convient pour des distances L inférieures à 50 m environ.

NOTE 2 – Ces dimensions sont des valeurs recommandées. Pourvu que les valeurs soient proportionnelles, il est admis que le symbole et la bordure soient de n'importe quelle dimension lisible compatible avec les dimensions de l'appareil à laser.

Figure 14 – Plaque d'avertissement – Symbole de danger



Dimensions in millimetres

a	g_1	g_2	r	D_1	D_2	D_3	d
25	0,5	1,5	1,25	10,5	7	3,5	0,5
50	1	3	2,5	21	14	7	1
100	2	6	5	42	28	14	2
150	3	9	7,5	63	42	21	3
200	4	12	10	84	56	28	4
400	8	24	20	168	112	56	8
600	12	36	30	252	168	84	12

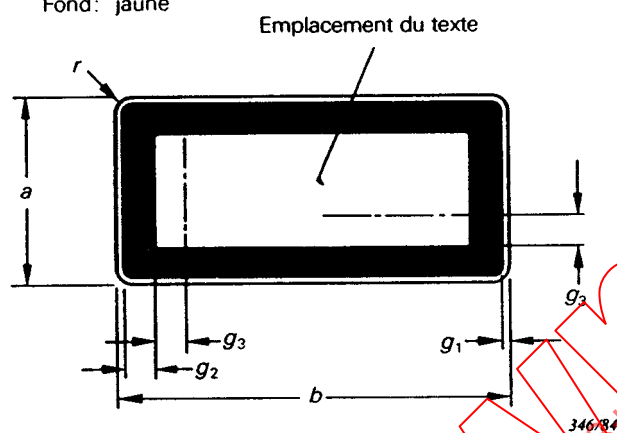
The dimensions D_1 , D_2 , D_3 , g_1 and d are recommended values.

NOTE 1 – The relationship between the greatest distance L from which the label can be understood and the minimum area A of the label is given by: $A = L^2/2\,000$, where A and L are expressed in square metres and metres respectively. This formula applies for distance L less than about 50 m.

NOTE 2 – These dimensions are recommended values. As long as they are proportional to the values, the symbol and border may be of any legible size as required to suit the size of the laser product.

Figure 14 – Warning label – Hazard symbol

Texte et entourage: noir
Fond: jaune



Dimensions en millimètres

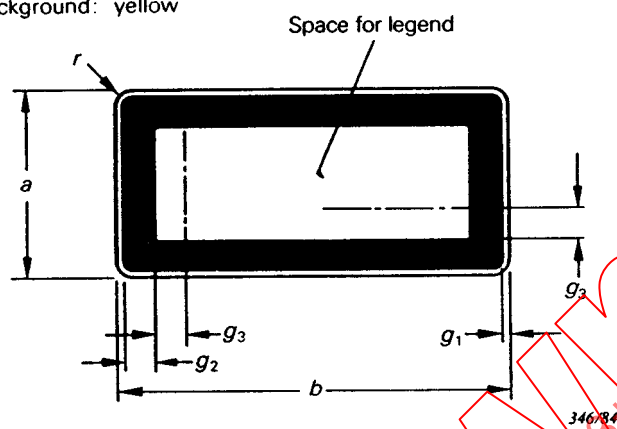
$a \times b$	g_1	g_2	g_3	r	Hauteur minimale des lettres
26 × 52	1	4	4	2	Les lettres doivent être d'une taille qui les rend lisibles
52 × 105	1,6	5	5	3,2	
84 × 148	2	6	7,5	4	
100 × 250	2,5	8	12,5	5	
140 × 200	2,5	10	10	5	
140 × 250	2,5	10	12,5	5	
140 × 400	3	10	20	6	
200 × 250	3	12	12,5	6	
200 × 400	3	12	20	6	
250 × 400	4	15	25	8	
La dimension g_1 est recommandée.					

NOTE 1 – L'aire minimale A de la plaque est liée à la plus grande distance L à laquelle la plaque doit pouvoir être comprise, par la formule: $A = L^2/2\ 000$ où A et L sont exprimés, respectivement, en mètres carrés et en mètres. Cette formule convient pour des distances L inférieures à 50 m environ.

NOTE 2 – Ces dimensions sont des valeurs recommandées. Il est admis que la plaque soit de n'importe quelle dimension nécessaire pour contenir les lettres et l'entourage exigés. La largeur minimale de chaque entourage (dimensions g_2 et g_3) doit être 0,06 fois la longueur du plus petit côté de la plaque.

Figure 15 – Plaque indicatrice

Legend and border: black
Background: yellow



$a \times b$	g_1	g_2	g_3	r	Minimum height of lettering
26 × 52	1	4	4	2	Lettering shall be of a size which renders it legible
52 × 105	1,6	5	5	3,2	
84 × 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	
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	
The dimension g_1 is recommended.					

NOTE 1 – The relationship between the greatest distance L from which the label can be understood and the minimum area A of the label is given by: $A = L^2/2\ 000$, where A and L are expressed in square metres and metres respectively. This formula applies for distance L less than about 50 m.

NOTE 2 – These dimensions are recommended values. The label may be of any size necessary to contain the required lettering and border. The minimum width of each border dimension g_2 and g_3 shall be 0,06 times the length of the shorter side of the label.

Figure 15 – Explanatory label

Annexe A (informative)

Exemples de calculs

Symboles utilisés dans les exemples de cette annexe:

Symbole	Unité	Définition
a	m	Diamètre du faisceau laser émergent.
LEA	W, J, W·m ⁻² ou J·m ⁻²	Limite d'émission accessible.
α	rad	Diamètre apparent d'une source étendue.
α_f	rad	Angle sous lequel la source apparente de rayonnement est vue par l'oeil de l'observateur à une distance de $r_f = 100$ mm.
$\alpha_{\min}$	rad	Diamètre apparent minimal d'une source pour laquelle le critère de source étendue est applicable.
$\alpha_{\max}$	rad	Valeur du diamètre apparent de la source apparente au-dessus de laquelle les EMP et les LEA sont indépendants de la dimension de la source ($\alpha_{\max} = 0,1$ rad).
$C_1, C_2, \dots, C_7$	1	Facteurs de correction (voir Notes sur les tableaux 1 à 4)
d_u	m	Diamètre du plus petit cercle à la distance donnée, r , de la source apparente qui contient u % de la puissance totale du laser (ou de l'énergie). Dans le cas d'un faisceau gaussien, d_{63} correspond aux points où l'éclairement énergétique (ou l'exposition énergétique) tombe à 1/e de sa valeur centrale maximale.
D_e	m	Diamètre de la pupille de sortie d'un système optique.
D_o	m	Diamètre de l'objectif d'un système optique.
η	1	Fraction de la puissance (ou énergie) totale du laser collectée à travers une ouverture donnée et à une distance donnée, r , de la source apparente.
F	Hz	Fréquence de répétition des impulsions.
G	1	Racine carrée du rapport entre l'éclairement énergétique (ou l'exposition énergétique) de la rétine reçu par un oeil assisté optiquement et celui reçu par un oeil nu.

Annex A (informative)

Examples of calculations

Symbols used in the examples of this annex:

Symbol	Unit	Definition
a	m	Diameter of the emergent laser beam.
AEL	W, J, $W \cdot m^{-2}$ or $J \cdot m^{-2}$	Accessible emission limit.
α	rad	Viewing angle subtended by an extended source.
α_f	rad	Angle at the eye subtending the apparent source of radiation at a distance of $r_f = 100$ mm.
α_{min}	rad	Minimum angle subtended by a source for which the extended source criterion applies.
α_{max}	rad	The value of angular subtense of the apparent source above which the MPES and AELs are independent of the source size. ($\alpha_{max} = 0,1$ rad)
$C_1, C_2, \dots, C_7$	1	Correction factors (see notes to tables 1 to 4)
d_u	m	Diameter of the smallest circle at a specified distance, r , from the apparent source that contains u % of the total laser power (or energy). In the case of a Gaussian beam, d_{63} corresponds to the points where the irradiance (or radiant exposure) falls to $1/e$ of its central peak value.
D_e	m	Diameter of the exit pupil of an optical system.
D_o	m	Diameter of the objective of an optical system.
η	1	Fraction of the total laser power (or energy) collected through a specified aperture located at a specified distance, r , from the apparent source.
F	Hz	Pulse repetition frequency.
G	1	Square root of the ratio of retinal irradiance or radiant exposure received by an optically aided eye to that received by an unaided eye.

Symbole	Unité	Définition
H	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$	Exposition énergétique ou
E	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	éclairement énergétique à la distance donnée, r , de la source apparente.
H_0	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$	Exposition énergétique ou
E_0	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	éclairement énergétique du faisceau émergeant à la distance zéro de la source apparente.
L_p	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	Luminance intégrée d'une source étendue.
λ	nm	Longueur d'onde du rayonnement laser.
M	1	Grossissement d'un instrument d'optique
H_{EMP} ou E_{EMP}	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	Exposition maximale permise
μ	m^{-1}	Coefficient d'atténuation atmosphérique à une longueur d'onde donnée.
N	1	Nombre total d'impulsions pendant une durée donnée pour une exposition à des impulsions répétitives laser.
ON	1	Ouverture numérique d'une source laser.
ON_m	1	Caractéristique d'ouverture numérique de l'objectif de microscope utilisé pour focaliser un faisceau parallèle en source ponctuelle.
$DNRO$	m	Distance nominale de risque oculaire.
DO	1	Densité optique (par transmission), est le logarithme décimal de l'inverse du facteur de transmission (voir aussi VEl 845-04-66; le symbole D n'est pas utilisé afin d'éviter toute confusion avec les diamètres).
P_0	W	Puissance totale rayonnée (flux rayonné) d'un laser à émission continue, ou puissance rayonnée moyenne d'un laser à impulsions répétitives.
P_p	W	Puissance rayonnée émise dans une impulsion d'un laser à impulsions.
ϕ	rad	Divergence du faisceau laser émergent.
π	1	Constante numérique 3,142.
Q	J	Energie rayonnée totale émise par un laser à impulsions.

Symbol	Unit	Definition
H	$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$	Radiant exposure or
E	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	irradiance at a specified distance, r , from the apparent source.
H_0	$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$	Emergent beam radiant exposure or
E_0	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	irradiance at zero distance from the apparent source.
L_p	$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$	Integrated radiance of an extended source.
λ	nm	Wavelength of laser radiation.
M	1	Magnification of an optical instrument.
H_{MPE} or E_{MPE}	$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	Maximum permissible exposure
μ	m^{-1}	Atmospheric attenuation coefficient at a specified wavelength.
N	1	Number of pulses contained within a specific time duration
NA	1	Numerical aperture of a laser source.
NA_m	1	Numerical aperture of a microscope objective
$NOHD$	m	Nominal ocular hazard distance.
OD	1	Optical (transmittance) density defined as the logarithm to base 10 of the reciprocal of the transmittance (see also IEC 845-04-66; symbol D is not used here to avoid confusion with diameters).
P_0	W	Total radiant power (radiant flux) of a CW laser, or average radiant power of a repetitively pulsed laser.
P_p	W	Radiant power within a pulse of a pulsed laser.
ϕ	rad	Divergence angle of an emergent laser beam.
π	1	The numerical constant 3,142.
Q	J	Total radiant energy of a pulsed laser.

Symbole	Unité	Définition
r	m	Distance entre la source apparente et l'observateur, une ouverture de mesurage ou une cible diffusante.
r_1	m	Distance entre la cible laser et l'observateur ou une ouverture de mesurage.
$r_{1,max}$	m	Distance maximale entre la cible laser et l'observateur lorsque les conditions de vision d'une source étendue s'appliquent.
t	s	Durée d'une seule impulsion.
T	s	Durée d'exposition totale d'un train d'impulsions.
T_1, T_2	s	Valeurs de transition (voir Notes des tableaux 1 à 4).
w_0	μm	Diamètre du champ de mode d'une fibre optique unimodale mesuré à la fraction $1/e^2$ de la valeur de la puissance surfacique sur l'axe de la fibre (voir aussi VEl 731-03-65)*.

* CEI 60050(731):1991, *Vocabulaire électrotechnique International (VEI) – Chapitre 731: Télécommunications par fibres optiques.*

Symbol	Unit	Definition
r	m	Distance from the apparent source to the viewer, measurement aperture, or diffuse target.
r_1	m	Distance from the laser target to the viewer or measurement aperture.
$r_{1,max}$	m	Maximum distance from the laser target to the viewer where extended source viewing conditions apply.
t	s	Time duration of a single laser pulse.
T	s	Total exposure duration of a train of pulses.
T_1, T_2	s	Time breakpoints (see notes to tables 1 to 4).
w_0	μm	Mode field diameter for a single-mode optical fibre measured at the $1/e^2$ points of the optical power distribution (see also IEC 731-03-65)*.

* IEC 60050(731):1991, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 731: Optical fibre communication*.

A.1 Exposition maximale permise (EMP) – Introduction

L'exposition maximale permise est définie en 3.51 comme le niveau maximal du rayonnement laser auquel des tissus vivants (des personnes) peuvent être exposés sans subir un dommage consécutif immédiat ou après une longue période. Les valeurs d'exposition maximale permise se situent en dessous des niveaux connus de risque. Toutefois les valeurs d'EMP seront à considérer comme des guides pour une exposition en toute sécurité, plutôt que comme des limites brusques de partage entre les niveaux d'exposition dangereux et les niveaux sûrs.

Les valeurs d'EMP dépendent:

- de la longueur d'onde du rayonnement;
- du temps d'exposition ou de la durée d'impulsion;
- du spectre des longueurs d'onde, lorsque le tissu est exposé à plusieurs longueurs d'onde;
- de la nature du tissu exposé;
- du diamètre apparent de la source (qui détermine la dimension de l'image rétinienne) dans la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 1 400 nm.

Les exemples développés dans cette annexe montrent les méthodes de calcul pour la vision dans le faisceau, pour des réflexions diffuses et des sources étendues, et pour des expositions modulées ou à impulsions répétitives. Les exemples exposent des méthodes de calcul pas-à-pas pour des longueurs d'onde caractéristiques et pour d'autres paramètres d'exposition. L'utilisateur peut ainsi adapter ces méthodes à une situation spécifique lorsqu'il a besoin de calculer l'EMP.

A.2 Exposition maximale permise (EMP) – Vision dans le faisceau

La vision dans le faisceau se produit lorsque le faisceau a pour résultat une image rétinienne minimale. Les trois exemples suivants illustrent les méthodes de calcul de la vision dans le faisceau.

Exemple A.2-1

Calculer l'EMP pour un laser hélium-cadmium, $\lambda = 325$ nm, avec une durée d'émission de 0,1 s.

Solution:

Les valeurs d'EMP peuvent être trouvées dans le tableau 6. A l'intersection de la gamme de longueurs 315 nm à 400 nm et de la durée d'exposition colonne 1×10^{-3} à 10 secondes, l'EMP est trouvée égale à $C_1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$. C_1 peut être calculé à partir de la formule donnée dans les notes des tableaux 1 à 4.

$$C_1 = 5,6 \times 10^3 \times t^{0,25}$$

$$H_{\text{EMP}} = 5,6 \times 10^3 \times 0,1^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 3,15 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

En termes d'éclairement énergétique après division par t ,

$$E_{\text{EMP}} = 3,15 \times 10^4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

A.1 Maximum permissible exposure (MPE) – Introduction

The maximum permissible exposure is defined in 3.51 as the maximum level of laser radiation to which living tissues (persons) may be exposed without suffering consequential injury either immediately after exposure, or later in time. Maximum permissible exposure values are set below known hazard levels. However, the MPE values should be regarded as guides for safe exposure, rather than as sharp dividing lines between safe and unsafe levels of exposure.

The MPE values are dependent upon:

- the wavelength of the radiation;
- the exposure time or pulse duration;
- the spectrum of wavelengths, when the tissue is exposed to more than one wavelength;
- the nature of the tissue exposed;
- the angular subtense of the source (which determines the size of the retinal image) in the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm.

The examples presented in this annex illustrate the calculation procedures for intrabeam viewing, for diffuse reflections and extended sources, and for pulsed or modulated exposures. The examples show step-by-step calculation procedures for typical wavelengths and other exposure parameters. The user may then adapt these procedures to a specific situation when the calculation of the MPE is necessary.

A.2 Maximum permissible exposure (MPE) – Intrabeam viewing

Intrabeam viewing occurs when the beam results in a minimal retinal image. The following three examples illustrate the calculation procedures for intrabeam viewing.

Example A.2-1

Calculate the MPE for helium-cadmium laser, $\lambda = 325$ nm, with an emission duration of 0,1 s.

Solution:

The MPE values can be found in table 6. At the intersection of the wavelength range from 315 nm to 400 nm and exposure duration column 1×10^{-3} s to 10 s, the MPE is found to be equal to $C_1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$. C_1 can be calculated from the formula given in the notes to tables 1 to 4.

$$C_1 = 5,6 \times 10^3 \times t^{0,25}$$

$$H_{\text{MPE}} = 5,6 \times 10^3 \times 0,1^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 3,15 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

In terms of irradiance obtained after dividing by t ,

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

Exemple A.2-2

Déterminer l'exposition maximale permise pour une impulsion unique d'un laser à impulsions à rubis, $\lambda = 694 \text{ nm}$, avec une durée d'exposition de 10^{-3} s .

Solution

Dans le tableau 6, on trouve l'EMP à l'intersection de la gamme de longueurs d'onde de 550 nm à 700 nm et de la durée d'exposition $t = 5 \times 10^{-5} \text{ s}$ à 10^{-3} s . La valeur de l'EMP est alors

$$H_{\text{EMP}} = 18 \times t^{0,75} \times C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Pour la vision dans le faisceau, $\alpha < \alpha_{\text{min}}$, et $C_6 = 1$.

Ainsi,

$$H_{\text{EMP}} = 18 \times (10^{-3})^{0,75} \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 0,10 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Exemple A.2-3

Quelle est l'EMP d'une impulsion d'un laser à arsénure de gallium, $\lambda = 905 \text{ nm}$, avec une impulsion d'une largeur de 100 ns?

Solution

Dans le tableau 6, l'EMP se trouve à l'intersection du domaine de longueurs d'onde de 700 nm à 1 050 nm et de la durée d'exposition $t = 10^{-7} \text{ s}$ à $1,8 \times 10^{-5} \text{ s}$. L'EMP exprimée en exposition énergétique est donnée par

$$H_{\text{EMP}} = 5 \times 10^{-3} \times C_4 \times C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Le coefficient C_4 peut être calculé à partir de la formule donnée dans les notes des tableaux 1 à 4:

$$C_4 = 10^{0,002(\lambda-700)} = 2,57$$

Puisque $C_6 = 1$ (conditions de vision d'une source ponctuelle),

$$H_{\text{EMP}} = 5 \times (10^{-3}) \times 2,57 \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 12,9 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Exemple A.2-4: Une source complexe d'un réseau de diodes laser

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

Example A.2-2

Determine the maximum permissible single pulse exposure for a pulsed ruby laser, $\lambda = 694 \text{ nm}$, with an exposure duration of 10^{-3} s .

Solution:

In table 6, the MPE is found at the intersection of the wavelength range from 550 nm to 700 nm and exposure duration $t = 5 \times 10^{-5} \text{ s}$ to 10^{-3} s . The MPE value then is

$$H_{\text{MPE}} = 18 \times t^{0,75} \times C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}.$$

For intrabeam viewing, $\alpha < \alpha_{\text{min}}$, and $C_6 = 1$.

Thus,

$$H_{\text{MPE}} = 18 \times (10^{-3})^{0,75} \times 1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 0,10 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Example A.2-3

What is the MPE for a single-pulse of a gallium-arsenide laser, $\lambda = 905 \text{ nm}$, with a pulse width of 100 ns?

Solution:

In table 6, the MPE is found at the intersection of the wavelength range from 700 nm to 1 050 nm and exposure duration $t = 10^{-7} \text{ s}$ to $1,8 \times 10^{-5} \text{ s}$. The MPE expressed as a radiant exposure is given by

$$H_{\text{MPE}} = 5 \times 10^{-3} \times C_4 \times C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}.$$

The coefficient C_4 can be calculated from the formula given in the notes to tables 1 to 4:

$$C_4 = 10^{0,002(\lambda-700)} = 2,57$$

Since $C_6 = 1$ (point source viewing conditions),

$$H_{\text{MPE}} = 5 \times (10^{-3}) \times 2,57 \times 1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 12,9 \times 10^{-3} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Example A.2-4: Complex laser diode array source

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

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

Solution

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Solution

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Diode prise individuellement

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Single-diode group

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

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

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

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

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

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

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

Groupement horizontal de deux diodes

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

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

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

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

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

Groupement vertical de deux diodes

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

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

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

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

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

Groupement de quatre diodes

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

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

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

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

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

Horizontal two-diode group

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

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

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

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

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

Vertical two-diode group

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

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

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

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

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

Four-diode group

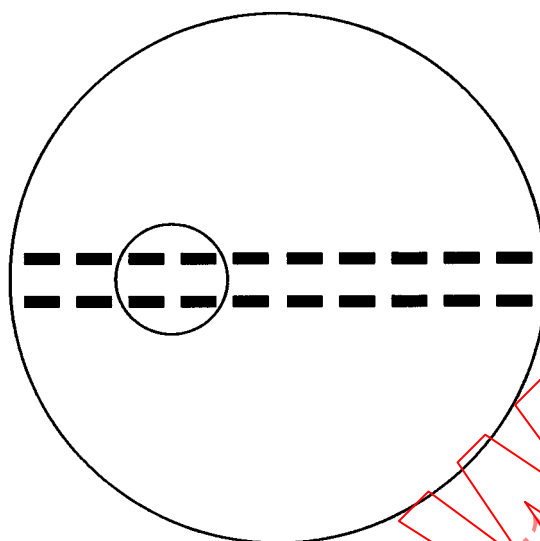
Another plausible sub-unit of the array to consider is four adjacent diodes (2 by 2) subtending angles of 2,8 mrad (vertical) by 5,2 mrad (horizontal). The arithmetic mean of the two angular dimensions is 4 mrad. The most restrictive MPE is given by the multiple pulse assessment and the correction factor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

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

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

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

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



CEI 12/6/93

Figure A.1 – Réseau de diodes laser à deux groupements

Une rangée de 10 diodes

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

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

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

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

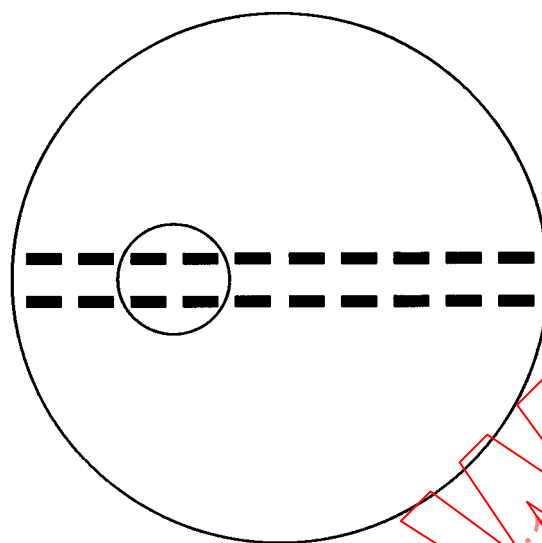
A une distance de 1 m, le facteur de risque est de $1\,800/36,1 = 49,9$.

Groupeement de 20 diodes

Le dernier groupement à étudier dans cet exemple correspond au réseau complet de 20 diodes. Comme les diodes sont disposées en deux lignes adjacentes, le diamètre apparent vertical est identique à celui du groupement de quatre diodes, c'est-à-dire 2,8 mrad, et le diamètre apparent horizontal est de 29,2 mrad. La moyenne est 16 mrad et l'EMP la plus restrictive est donnée par l'évaluation de la puissance moyenne. C'est pourquoi le facteur de correction est $C_6 = 16/11 = 1,45$ et l'EMP applicable est:

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

Cette EMP est à comparer à l'éclairement énergétique total. A une distance de 1 m, le facteur de risque est de $3\,600/37,7 = 95,5$. C'est le facteur de risque le plus important trouvé dans cet exemple.



CEI 12/6/93

Figure A.1 – Laser diode array with two groupings

One row of 10 diodes

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

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

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

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

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

20-diode group

The last grouping to be considered in this example is an evaluation of the entire array of 20 diodes. Since the diodes are arranged in two adjacent rows, the vertical angular subtense is identical to that in the four-diode group, i.e. 2,8 mrad, and the horizontal angular subtense is 29,2 mrad. The average is 16 mrad and the most restrictive MPE is given by the average power assessment. Therefore the correction factor is $C_6 = 16/11 = 1,45$ and the applicable MPE is as follows:

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

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

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

Remarques complémentaires

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

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

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

Le facteur de risque du réseau entier est $3\,600/69,7 = 51,6$.

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

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

Il convient de comparer cette valeur avec:

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

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

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

Densité optique nécessaire

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

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

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

Additional remarks

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

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

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

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

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

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

This value should be compared with the following:

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

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

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

Required optical density

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

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

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

Utilisation d'un dispositif optique

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

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

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

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

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

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

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

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

Use of an optical device

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

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

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

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

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

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

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

Considérations sur la fréquence de répétition des impulsions

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

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

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

Cependant, il est important de noter que ces valeurs limites ne sont valables que si la valeur de C_6 calculée pour l'évaluation pour des impulsions multiples et celle calculée pour l'évaluation de la puissance moyenne sont égales. C'est pourquoi, pour des expositions supérieures à 0,7 s (voir 9.3 d)), les deux valeurs de fréquence indiquées ci-dessus ne sont valables que si le diamètre apparent n'est pas supérieur à 1,5 mrad.

Ces valeurs de fréquence sont obtenues en comparant $H_{EMP,train}$ à $H_{EMP,moy}$ et en tenant compte que $N = F \times t$. Ainsi, par exemple la valeur de 55 174 Hz est obtenue comme suit:

$$5 \times 10^{-3} (F \times t)^{-1/4} \leq 18t^{0,75}/(F \times t)$$

$$5 \times 10^{-3} F^{3/4} \leq 18$$

Cela donne la valeur indiquée ci-dessus.

A.3 Exposition maximale permise (EMP) – Réflexions diffuses et sources étendues

Les conditions de vision d'une source étendue se produisent quand

- Le rayonnement laser est réfléchi par une surface diffusante (source apparente).
- L'image formée par le rayonnement réfléchi sur la rétine d'un oeil exposé est plus grande qu'une certaine valeur minimale de l'image rétinienne, déterminée par le diamètre apparent limite α_{min} .

Le diamètre apparent limite α_{min} est une fonction de la durée d'exposition et est mesuré à une distance d'au moins 100 mm de la source apparente (voir 9.3 d)). La valeur maximale de α_{min} peut atteindre 0,011 radian.

Considerations on the pulse repetition frequency

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

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

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

However it is important to note that these limiting values are valid only if the value of C_6 calculated for the multiple pulse assessment and the one calculated for the average power assessment are equal. Therefore, for exposures longer than 0,7 s (see 9.3 d), the two values of the frequency indicated above are valid only if the angular subtense is not greater than 1,5 mrad.

These values of the frequency are obtained by comparing $H_{\text{MPE,train}}$ with $H_{\text{MPE,avg}}$, and taking into account that $N = F \times t$. Thus for example, the value of 55 174 Hz is obtained by the following:

$$5 \times 10^{-3} (F \times t)^{-1/4} \leq 18 t^{0,75} / (F \times t)$$

$$5 \times 10^{-3} F^{3/4} \leq 18$$

This gives the value indicated above.

A.3 Maximum permissible exposures (MPE) – Diffuse reflections and extended sources

Examples of extended source viewing are:

- The laser radiation is reflected from a diffusing surface (apparent source).
- The image formed by the reflected radiation on the retina of the eye exposed is larger than a certain minimum value of the retinal image, determined by the limiting angular subtense α_{min} .

The limiting angular subtense α_{min} is a function of exposure duration and is measured at a distance of no less than 100 mm from the apparent source (see 9.3 d)). The maximum value α_{min} can attain is 0,011 radian.

Exemple A.3-1:

Le rayonnement d'un laser déclenché à YAG au néodyme ($\lambda = 1064 \text{ nm}$, $t = 10^{-8} \text{ s}$) est élargi pour former un faisceau de 2 cm de diamètre avant d'être réfléchi par un diffuseur parfait.

- Quel est l'intervalle de distance sur lequel les conditions de vision d'une source étendue s'appliquent ?
- Quelle est l'EMP à une distance de 2,5 m du diffuseur ?

Solution:

Le diamètre apparent est défini par l'équation:

$$\alpha = 2 \arctan \frac{d_{63}}{2r_1} \approx \frac{d_{63}}{r_1}$$

où d_{63} est le diamètre du faisceau laser à la cible diffusante.

- Dans le cas limite $\alpha = \alpha_{\min}$ et, par conséquent,

$$r_{1,\max} = \frac{d_{63}}{\alpha_{\min}}$$

Pour cet exemple

$$r_{1,\max} = \frac{0,02 \text{ m}}{1,5 \times 10^{-3} \text{ rad}} = 13,3 \text{ m}$$

A une distance supérieure à $r_{1,\max} = 13 \text{ m}$, les conditions de vision d'une source ponctuelle s'appliquent.

L'EMP pour une durée d'exposition spécifiée est donnée par (voir tableau 6):

$$H_{\text{EMP}} = 5 \times 10^{-2} \times C_6 \times C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

où $C_7 = 1$ pour $\lambda = 1064 \text{ nm}$ (voir notes des tableaux 1 à 4). Pour la condition d'une vision d'une source ponctuelle, $\alpha \leq \alpha_{\min}$, $C_6 = 1$, et l'EMP est

$$H_{\text{EMP}} = 5 \times 10^{-2} \times 1 \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 5 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

- A une distance inférieure à $r_{1,\max} = 13 \text{ m}$, les conditions de vision d'une source étendue s'appliquent, et $C_6 = \alpha/\alpha_{\min}$ pour $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max} = 0,1 \text{ rad}$. A la distance de $r_1 = 2,5 \text{ m}$,

$$\alpha = \frac{d_{63}}{r_1} = \frac{0,020 \text{ m}}{2,5 \text{ m}} = 8 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

et

$$C_6 = \frac{\alpha}{\alpha_{\min}} = \frac{8,0 \times 10^{-3} \text{ rad}}{1,5 \times 10^{-3} \text{ rad}} = 5,33$$

Par suite, l'EMP pour la vision de la source étendue à 2,5 m est

$$H_{\text{EMP}} = 5 \times 10^{-2} \times 5,33 \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 0,27 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Example A3-1

The radiation from a Q-switched Nd-YAG laser ($\lambda = 1064 \text{ nm}$, $t = 10^{-8} \text{ s}$) is expanded to form a beam 2 cm in diameter before being reflected from a perfect diffuser.

- What is the range over which extended source viewing conditions exist?
- What is the MPE at a distance of 2,5 m from the diffuser?

Solution:

The angular subtense is defined by the equation:

$$\alpha = 2 \arctan \frac{d_{63}}{2r_1} \approx \frac{d_{63}}{r_1}$$

where d_{63} is the diameter of the laser beam at the diffusing target.

- In the limiting case $\alpha = \alpha_{\min}$ and, therefore,

$$r_{1,\max} = \frac{d_{63}}{\alpha_{\min}}$$

For this example

$$r_{1,\max} = \frac{0,02 \text{ m}}{1,5 \times 10^{-3} \text{ rad}} = 13,3 \text{ m}$$

At distances greater than $r_{1,\max} = 13 \text{ m}$, point source viewing conditions exist.

The MPE for the specified exposure duration is given by (see table 6):

$$H_{\text{MPE}} = 5 \times 10^{-2} \times C_6 \times C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

where $C_7 = 1$ for $\lambda = 1064 \text{ nm}$ (see notes to tables 1 to 4). For the point source viewing situation, $\alpha \leq \alpha_{\min}$, $C_6 = 1$, and the MPE is

$$H_{\text{MPE}} = 5 \times 10^{-2} \times 1 \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 5 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

- At distances less than $r_{1,\max} = 13 \text{ m}$, extended source viewing conditions exist, and $C_6 = \alpha/\alpha_{\min}$ for $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max} = 0,1 \text{ rad}$. At the distance of $r_1 = 2,5 \text{ m}$,

$$\alpha = \frac{d_{63}}{r_1} = \frac{0,020 \text{ m}}{2,5 \text{ m}} = 8 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

and

$$C_6 = \frac{\alpha}{\alpha_{\min}} = \frac{8,0 \times 10^{-3} \text{ rad}}{1,5 \times 10^{-3} \text{ rad}} = 5,33$$

Hence, the MPE for viewing of the extended source at 2,5 m is

$$H_{\text{MPE}} = 5 \times 10^{-2} \times 5,33 \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 0,27 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}.$$

Exemple A.3-2:

Trouver l'énergie rayonnante maximale émise par le laser de l'exemple A.3-1 qui permette une vision sans danger de l'émission par l'intermédiaire d'un diffuseur parfait situé à moins de 0,2 m de l'oeil de l'observateur.

Solution:

A une distance inférieure à 0,20 m, les conditions de vision sont telles que l'angle d'acceptance α est plus grand que $\alpha_{\max} = 0,1$ rad:

$$\alpha = \frac{d_{63}}{r_1} = \frac{0,020 \text{ m}}{0,20 \text{ m}} = 0,10 \text{ rad}$$

L'exposition énergétique du faisceau incident capable de produire une réflexion diffuse dangereuse dans cette condition de vision d'une source étendue peut être obtenue en commençant par exprimer l'EMP de la réflexion diffuse en termes de luminance énergétique. Ceci est réalisé en divisant l'EMP de la réflexion diffuse exprimée en exposition énergétique par l'angle solide formé par l'angle maximal d'acceptance. Les résultats sont donnés dans les équations contenues en 13.5 en termes d'EMP d'une source ponctuelle; par suite, les coefficients numériques sont équivalents aux valeurs des facteurs de correction C_6 (avec $\alpha = \alpha_{\max}$) utilisés dans les équations d'EMP d'exposition énergétique. Pour le cas de $t < 0,7$ s, l'EMP de la réflexion diffuse exprimée en luminance intégrée est

$$L_{\text{EMP}} = 8,5 \times 10^3 \times H_{\text{EMP,pt.src}} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$$

Pour ce problème, l'EMP en luminance intégrée est obtenue par substitution de l'EMP de la source ponctuelle déterminée dans l'exemple A.3-2)

$$L_{\text{EMP}} = 8,5 \times 10^3 \times 5,0 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} = 425 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$$

La luminance intégrée de la réflexion diffuse est associée à l'exposition énergétique du faisceau incident sur la cible par l'expression:

$$H = \pi \times L_p$$

Par suite, l'exposition énergétique suffisante pour produire une réflexion dangereuse d'une surface ayant un pouvoir réflecteur de 100 %, cible diffusante blanche, est

$$H_{\text{EMP}} = \pi \text{ sr} \times L_{\text{EMP}} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} = 1,34 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Enfin, en supposant que l'énergie rayonnante est distribuée uniformément sur la surface de cible éclairée par le faisceau, A, l'énergie rayonnante pour produire une réflexion dangereuse est

$$Q_{\text{EMP}} = H_{\text{EMP}} \times A = H_{\text{EMP}} \times \pi/4 \times d_{63}^2 = 1,34 \times 10^3 \times \pi/4 \times 0,02^2 \text{ J} = 0,42 \text{ J}$$

Exemple A.3-3:

Calculer la distance minimale pour la vision sans danger d'un écran parfaitement diffusant si l'émission du laser de l'exemple A.3-2 est focalisée sur cet écran.

Example A.3-2

Find the maximum radiant energy from the laser in example A.3-1 permitting non-hazardous viewing of the output reflected from a perfect diffuser located less than 0,2 m from the observer's eye.

Solution:

At distances less than 0,20 m, the viewing conditions are such that the acceptance angle α is greater than $\alpha_{\max} = 0,1$ rad:

$$\alpha = \frac{d_{63}}{r_1} = \frac{0,020 \text{ m}}{0,20 \text{ m}} = 0,10 \text{ rad}$$

The incident beam radiant exposure capable of producing a hazardous diffuse reflection under this extended source viewing condition can be obtained by first expressing the diffuse reflection MPE as an integrated radiance. This is accomplished by dividing the diffuse reflection MPE expressed as a radiant exposure by the solid angle formed by the maximum angle of acceptance. The results are given in the equations contained in 13.5 in terms of the point source MPE; hence, the numerical coefficients are equivalent to the C_6 correction values (with $\alpha = \alpha_{\max}$) used in the radiant exposure MPE equations. For the case of $t < 0,7$ s, the diffuse reflection MPE expressed as an integrated radiance is

$$L_{\text{MPE}} = 8,5 \times 10^3 \times H_{\text{MPE,pt src}} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$$

The integrated radiance MPE for this problem is obtained by substituting the point source MPE obtained in example A.3-2:

$$L_{\text{MPE}} = 8,5 \times 10^3 \times 5,0 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} = 425 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$$

The integrated radiance of the diffuse reflection is related to the incident beam radiant exposure at the target through the expression:

$$H = \pi \times L_p$$

Hence, the radiant exposure sufficient to produce a hazardous reflection from a 100 % reflectance, white diffuse target is

$$H_{\text{MPE}} = \pi \text{ sr} \times L_{\text{MPE}} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} = 1,34 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Finally, assuming that the radiant energy is uniformly distributed over the area of the target beam spot, A , the radiant energy sufficient to produce a hazardous reflection is

$$Q_{\text{EMP}} = H_{\text{EMP}} \times A = H_{\text{EMP}} \times \pi/4 \times d_{63}^2 = 1,34 \times 10^3 \times \pi/4 \times 0,02^2 \text{ J} = 0,42 \text{ J}$$

Example A.3-3

Calculate the minimum safe viewing distance normal to a perfect diffusing screen if the output from the laser in example A.3-2 is focussed on the screen.

Solution:

Dans cette situation, le rayonnement est réfléchi dans un volume hémisphérique à partir du point de focalisation sur la cible diffuse lambertienne; par conséquent, les conditions de vision d'une source ponctuelle s'appliquent. A la distance r_1 d'une source lambertienne, l'exposition énergétique est donnée par:

$$H = \left(\frac{Q \cos \theta}{\pi r_1^2} \right)$$

où θ est l'angle de vision par rapport à la normale à la surface.

La distance nominale de risque oculaire, r_{DNRO} , pour cette source lambertienne est obtenue à partir de l'EMP en exposition énergétique de la source ponctuelle, comme suit:

$$r_{\text{DNRO}} = \left(\frac{Q \cos \theta}{\pi H_{\text{EMP,pt,src.}}} \right)^{1/2}$$

L'énergie radiante maximale sortant du laser obtenue dans l'exemple précédent est 0,42 J, et l'angle de vision donné est $\theta = 0$ rad. Présupposant que la cible est aussi un réflecteur parfait, la distance minimale de sécurité pour la vision est

$$r_{\text{DNRO}} = \sqrt{\frac{0,42 \text{ J} \times \cos(0)}{\pi \times 0,05 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}}} = 1,6 \text{ m}$$

A.4 Exposition maximale permise (EMP) – Systèmes à impulsions répétitives

Les règles applicables aux systèmes à impulsions répétitives (ou aux expositions à partir de systèmes laser à balayage) sont exposées en 13.3.

Exemple A.4-1:

Déterminer l'EMP pour la vision dans le faisceau lors d'une exposition oculaire directe à un rayonnement laser argon ($\lambda = 488 \text{ nm}$) fonctionnant à une fréquence de répétition des impulsions de $F = 1 \text{ MHz}$ avec une largeur d'impulsion de $t = 10^{-8} \text{ s}$.

Solution:

Comme le laser émet dans la partie visible du spectre, la durée d'exposition sera limitée par le réflexe palpébral à $T = 0,25 \text{ s}$. Pour cette durée, le nombre total d'impulsions est:

$$N = T \times F = 0,25 \text{ s} \times 10^6 \text{ Hz} = 2,5 \times 10^5$$

Le paragraphe 13.3 comporte trois critères qui doivent être considérés, et le plus restrictif des trois s'applique à cette évaluation. La valeur de C_6 est 1 dans ces calculs puisque le faisceau est émis à partir d'une source ponctuelle.

De 13.3 a), l'exposition à une impulsion unique quelconque ne doit pas excéder l'EMP d'une impulsion seule. Ainsi l'exposition énergétique pour cette durée de 10^{-8} s au tableau 6 est:

$$H_{\text{unique}} = 5 \times 10^{-3} \times C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 5 \times 10^{-3} \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 5 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Solution:

In this situation, the radiation is reflected hemispherically outward from the focal point on the diffuse Lambertian target; therefore, point source viewing conditions apply. At a distance r_1 from a Lambertian source, the radiant exposure is given by:

$$H = \left(\frac{Q \cos \theta}{\pi r_1^2} \right)$$

where θ is the viewing angle with respect to the normal to the surface.

The nominal optical hazard distance, r_{NOHD} , for a Lambertian source is obtained from the point source radiant exposure MPE as follows:

$$r_{\text{NOHD}} = \left(\frac{Q \cos \theta}{\pi H_{\text{MPE,pt,src.}}} \right)^{1/2}$$

The maximum radiant energy output of the laser obtained in the previous example is 0,42 J, and the specified viewing angle is $\theta = 0$ rad. Assuming that the target is also perfectly reflecting, the minimum safe viewing distance is

$$r_{\text{NOHD}} = \sqrt{\frac{0,42 \text{ J} \times \cos(0)}{\pi \times 0,05 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}}} = 1,6 \text{ m}$$

A.4 Maximum permissible exposure (MPE) – Repetitively pulsed systems

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

Example A.4-1

Determine the intrabeam MPE for direct ocular exposure to the radiation from an argon laser ($\lambda = 488 \text{ nm}$) operating at a frequency of $F = 1 \text{ MHz}$ with a pulse duration of $t = 10^{-8} \text{ s}$.

Solution:

As the laser is operating in the visible part of the spectrum, the exposure duration will be limited by the blink reflex to $T = 0,25 \text{ s}$. For this time period, the total number of pulses is:

$$N = T \times F = 0,25 \text{ s} \times 10^6 \text{ Hz} = 2,5 \times 10^5$$

Subclause 13.3 includes three criteria which must be considered, and the most restrictive one applies to this evaluation. The value of C_6 is 1 in these calculations since the beam is emitted from a point source.

From 13.3 a), the exposure from any single pulse shall not exceed the single pulse MPE. Thus the radiant exposure for the time period of 10^{-8} s from table 6 is:

$$H_{\text{single}} = 5 \times 10^{-3} \times C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 5 \times 10^{-3} \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 5 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

De 13.3 b), l'éclairement énergétique moyen pour le train d'impulsions de longueur T ne doit pas excéder l'EMP pour une impulsion unique de durée T . Pour une durée de 0,25 s (le temps total d'exposition), le tableau 6 limite l'exposition énergétique à:

$$H_T = 18 t^{0,75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 18 \times 0,25^{0,75} \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 6,36 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Puisqu'il y a $N = 2,5 \times 10^5$ impulsions dans la durée de 0,25 s, le critère d'éclairement énergétique moyen se traduit par une exposition énergétique d'une impulsion unique de:

$$H_{\text{unique-moy}} = \frac{H_T}{N} = \frac{6,36}{2,5 \times 10^5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 2,55 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

De 13.3 c), le critère d'impulsions répétitives précise que l'exposition à une impulsion unique doit être réduite par un facteur de $N^{-0,25}$. Pour le nombre d'impulsions $N = 2,5 \times 10^5$ dans une durée de 0,25 s, l'exposition énergétique relative à ce critère devrait être:

$$H_{\text{train}} = H_{\text{unique}} \times N^{-0,25} = 5 \times 10^{-3} \times (2,5 \times 10^5)^{-0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 2,24 \times 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Comme la limite venant du critère d'éclairement énergétique moyen au 13.3b) est plus restrictive, l'EMP d'une impulsion unique pour ce système devrait être $2,55 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$. L'EMP pourrait aussi s'exprimer en termes d'éclairement énergétique par:

$$E_{\text{EMP}} = \frac{H_{\text{unique-moy}}}{t} = \frac{2,55 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}}{10^{-8} \text{ s}} = 2,55 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Exemple A.4-2:

Déterminer l'EMP pour une vision dans le faisceau lors d'une exposition oculaire directe à un rayonnement d'un laser à YAG au néodyme ($\lambda = 1\,060 \text{ nm}$) fonctionnant à une fréquence de répétition des impulsions de $F = 20 \text{ Hz}$ avec une largeur d'impulsion de $t = 1 \text{ ms}$.

Solution:

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. Pour cette durée, le nombre total d'impulsions est:

$$N = T \times F = 10 \text{ s} \times 20 \text{ Hz} = 200$$

Le paragraphe 13.3 comporte trois critères qui doivent être considérés, et le plus restrictif des trois s'applique à cette évaluation. La valeur de C_6 est 1 dans ces calculs puisque le faisceau est émis à partir d'une source ponctuelle. La valeur de C_7 des notes aux tableaux 1 à 4 est aussi de 1 pour la longueur d'onde de 1 060 nm.

De 13.3 a), l'exposition à une impulsion unique quelconque ne doit pas excéder l'EMP d'une impulsion seule. Ainsi l'exposition énergétique au tableau 6 pour cette durée de 1 ms est:

$$H_{\text{unique}} = 90 t^{0,75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 90 \times 0,001^{0,75} \times 1 \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 0,506 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

De 13.3 b), l'éclairement énergétique moyen pour le train d'impulsions de longueur T ne doit pas excéder l'EMP pour une impulsion unique de durée T . Pour une durée de 10 s (le temps total d'exposition), le tableau 6 limite l'exposition énergétique à:

$$H_T = 90 t^{0,75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 90 \times 10^{0,75} \times 1 \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 506 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

From 13.3 b), the average irradiance for the pulse train of length T shall not exceed the MPE for a single pulse of duration T . For the 0,25 s duration (the total exposure time), table 6 limits the radiant exposure to:

$$H_T = 18 t^{0,75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 18 \times 0,25^{0,75} \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 6,36 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Since there are $N = 2,5 \times 10^5$ pulses in the 0,25 s period, the average irradiance criteria results in a single pulse radiant exposure of:

$$H_{\text{single.avg}} = \frac{H_T}{N} = \frac{6,36}{2,5 \times 10^5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 2,55 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

From 13.3 c), the repetitive pulse criteria specifies that the exposure for a single pulse must be reduced by a factor of $N^{-0,25}$. For the $N = 2,5 \times 10^5$ pulses in the 0,25 s period, the radiant exposure under this criteria would be:

$$H_{\text{train}} = H_{\text{single}} \times N^{-0,25} = 5 \times 10^{-3} \times (2,5 \times 10^5)^{-0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 2,24 \times 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Since the limit from the average irradiance criteria of 13.3b) is the most restrictive, the single pulse MPE for this system would be $2,55 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$. The MPE could also be expressed in terms of irradiance as:

$$E_{\text{MPE}} = \frac{H_{\text{single.avg}}}{t} = \frac{2,55 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}}{10^{-8} \text{ s}} = 2,55 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Example A.4-2

Determine the intrabeam MPE for direct ocular exposure to the radiation from a Nd:YAG laser ($\lambda = 1\,060 \text{ nm}$) operating at a frequency of $F = 20 \text{ Hz}$ with a pulse width of $t = 1 \text{ ms}$.

Solution:

As the 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. For this time period, the total number of pulses is:

$$N = T \times F = 10 \text{ s} \times 20 \text{ Hz} = 200$$

Subclause 13.3 includes three criteria which must be considered, and the most restrictive one applies to this evaluation. The value of C_6 is 1 in these calculations since the beam is emitted from a point source. The value of C_7 from notes to tables 1 to 4 is also 1 for the 1 060 nm wavelength.

From 13.3 a), the exposure from any single pulse shall not exceed the single pulse MPE. Thus the radiant exposure from table 6 for the time period of 1 ms is:

$$H_{\text{single}} = 90 t^{0,75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 90 \times 0,001^{0,75} \times 1 \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 0,506 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}.$$

From 13.3 b), the average irradiance for the pulse train of length T shall not exceed the MPE for a single pulse of duration T . For the 10 s duration (the total exposure time), table 6 limits the radiant exposure to:

$$H_T = 90 t^{0,75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 90 \times 10^{0,75} \times 1 \times 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 506 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Puisqu'il y a $N = 200$ impulsions dans la durée de 10 s, le critère d'éclairement énergétique moyen se traduit par une exposition énergétique d'une impulsion unique de:

$$H_{\text{unique-moy}} = \frac{H_T}{N} = \frac{506}{200} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 2,53 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

De 13.3 c), le critère d'impulsions répétitives précise que l'exposition à une impulsion unique doit être réduite par un facteur de $N^{-0,25}$. Pour le nombre d'impulsions $N = 200$ dans la durée de 10 s, l'exposition énergétique relative à ce critère devrait être:

$$H_{\text{train}} = H_{\text{unique}} \times N^{-0,25} = 0,506 \times (200)^{-0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 0,135 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Comme la limite venant du critère d'impulsions répétitives de 13.3c) est plus restrictive, l'EMP d'une impulsion unique pour ce système devrait être $0,135 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$. L'EMP pourrait aussi s'exprimer en termes d'éclairement énergétique par:

$$E_{\text{EMP}} = \frac{H_{\text{train}}}{t} = \frac{0,135 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}}{10^{-3} \text{ s}} = 135 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

A.5 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:

$$E = \frac{4 P_0 e^{-\mu r}}{\pi (a + r\phi)^2} \quad (1)$$

NOTE – a et ϕ sont mesurés aux points à 1/e du profil du faisceau, quand le profil du faisceau est présumé 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:

$$L = \frac{I e^{-\mu r}}{r^2}$$

où I = intensité rayonnante ($\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$) (voir 8.2 sur les mesures).

Si I n'est pas connu et ne peut être mesuré, la valeur de P_0 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 l'équation (1) en:

$$E = \frac{4 P_0}{\pi (a + r\phi)^2} \quad (2)$$

Lorsque E est remplacé par E_{EMP} , r devient la DNRO et il est possible de résoudre l'expression pour la DNRO:

$$\text{DNRO} = \frac{\sqrt{4 P_0 / \pi E_{\text{EMP}}} - a}{\phi} \quad (3)$$

Since there are $N = 200$ pulses in the 10 s period, the average irradiance criteria results in a single pulse radiant exposure of:

$$H_{\text{single.avg}} = \frac{H_T}{N} = \frac{506}{200} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 2,53 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

From 13.3 c), the repetitive pulse criteria specifies that the exposure for a single pulse must be reduced by a factor of $N^{-0,25}$. For the $N = 200$ pulses in the 10 s period, the radiant exposure under this criteria would be:

$$H_{\text{train}} = H_{\text{single}} \times N^{-0,25} = 0,506 \times (200)^{-0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 0,135 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Since the limit from the repetitive pulse criteria of 13.3 c) is the most restrictive, the single pulse MPE for this system would be $0,135 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$. The MPE could also be expressed in terms of irradiance as:

$$E_{\text{MPE}} = \frac{H_{\text{train}}}{t} = \frac{0,135 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}}{10^{-3} \text{ s}} = 135 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

A.5 Nominal ocular hazard distance (NOHD)

The NOHD represents that range at which under ideal conditions, the irradiance and the radiant exposure fall below the appropriate MPE.

The irradiance at a distance r from a laser source is given by:

$$E = \frac{4 P_0 e^{-\mu r}}{\pi (a + r\phi)^2} \quad (1)$$

NOTE – a and ϕ 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:

$$L = \frac{I e^{-\mu r}}{r^2}$$

where I = radiant intensity ($\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$) (see 8.2 on measurements).

If I is not known and cannot be measured, the value for P_0 in equation (1) above can 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 equation (1) to:

$$E = \frac{4 P_0}{\pi (a + r\phi)^2} \quad (2)$$

When E is replaced with E_{MPE} , r becomes the NOHD and the expression can be solved for NOHD:

$$\text{NOHD} = \frac{\sqrt{4 P_0 / \pi E_{\text{MPE}} - a}}{\phi} \quad (3)$$

Si les effets de l'atténuation atmosphérique doivent être pris en compte, une solution simple de l'équation (1) 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:

$$r_{\mu} = 0,5 r_c (1 + e^{-\mu r_c}) \quad (4)$$

où

r_{μ} est la distance tenant compte de l'atténuation atmosphérique, et

r_c est la distance calculée à partir de l'équation (3)

Une évaluation suffisamment bonne pour μ , le coefficient atmosphérique, peut être obtenue à partir de la formule suivante:

$$\mu = 10^{-3} \times \frac{3,91}{V} \times \left(\frac{0,55}{\lambda} \right)^A \text{ m}^{-1} \quad (5)$$

où

$$A = 0,585 V^{0,33}$$

V = distance de visibilité en km

λ = longueur d'onde en μm ($0,4 < \lambda < 2$)

Emploi d'instruments d'optique

Quand des instruments d'optique (télescopes, 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'oeil.

Si le diamètre de la pupille de sortie de l'instrument d'optique n'est pas supérieur à 7 mm, l'accroissement du niveau de rayonnement pénétrant dans l'oeil dépend du facteur:

$$G = \frac{\text{diamètre de l'objectif ou du diaphragme de l'instrument}}{\text{diamètre théorique pupille}} = \frac{D_o}{7 \times 10^{-3}}$$

La DNRO majorée devient alors

$$\text{DNRO} = \text{DNRO de base} \times G + \frac{a(G-1)}{\phi}$$

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'oeil.

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 2 000 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'oeil nu des sources étendues soient satisfaits et que le rayonnement soit compris dans la bande de 400 nm à 1 400 nm.

Exemple A.5-1:

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.

If the effects of atmospheric attenuation are to be included, a simple solution to equation (1) in terms of r , cannot be found. However, the following approach will lead to a slightly oversafe result:

$$r_{\mu} = 0,5 r_c (1 + e^{-\mu r_c}) \quad (4)$$

where

r_{μ} is the distance including atmospheric attenuation, and

r_c is the distance calculated from equation (3).

A reliable estimate for μ , the atmospheric attenuation coefficient, can be obtained from the following formula:

$$\mu = 10^{-3} \times \frac{3,91}{V} \times \left(\frac{0,55}{\lambda} \right)^A \text{ m}^{-1} \quad (5)$$

where

$$A = 0,585 V^{0,33}$$

V = visual range in km

λ = wavelength in μm ($0,4 < \lambda < 2$).

Use of optical viewing aids

Where viewing aids (telescopes, binoculars, etc.) are used to view a source of laser radiation, it is necessary to extend the NOHD to account for the increase in radiation entering the eye.

If the diameter of the exit pupil of the optical viewing aid is not greater than 7 mm, the increase in the amount of radiation entering the eye is dependent on the factor:

$$G = \frac{\text{diameter of objective lens or aperture of viewing aid}}{\text{theoretical pupillary diameter}} = \frac{D_0}{7 \times 10^{-3}}$$

The extended NOHD now becomes

$$\text{NOHD} = \text{basic NOHD} \times G + \frac{a(G-1)}{\phi}$$

in the worst case where the beam diameter is greater than the objective lens diameter, and when the exit pupil diameter is less than the eye pupil diameter.

Unless provided with special laser attenuating filters, no allowance should be made for transmission losses in viewing optics, as many devices have a high transmittance (0,8) extending well into the infra-red region of the spectrum above 2 000 nm.

NOTE – The output from lasers of Class 1, Class 2 and Class 3 may be viewed via a diffusing screen or non-specular target through magnifying optics, provided that the criteria for unaided viewing of extended sources are satisfied and that the radiation is within the band 400 nm to 1 400 nm.

Example A.5-1

A laser has an output of 4 W, a beam divergence of 0,7 mrad and an exit beam diameter of 1 mm. If the appropriate MPE is $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ calculate the NOHD, assuming negligible atmospheric attenuation.

Solution:

L'application de l'équation (3) donne:

$$\text{DNRO} = \frac{\sqrt{(4 \times 4) / 10 \pi} - 0,001}{0,7 \times 10^{-3}} \text{ m} = \frac{0,7136 - 0,001}{0,7 \times 10^{-3}} \text{ m} = 1,018 \text{ km}$$

Exemple A.5-2:

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 DNRO.

Solution:

La nouvelle DNRO est:

$$\text{DNRO} = \frac{\sqrt{(4 \times 4) / 10 \pi} - 7 \times 10^{-3}}{0,1 \times 10^{-3}} \text{ m} = 7,07 \text{ km}$$

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 de sortie du faisceau peut être négligé.

Exemple A.5-3:

Le laser de l'exemple A.5-2 émet à 550 nm. Calculer la DNRO modifiée en supposant la distance de visibilité égale à 20 km.

Solution:

Le coefficient d'atténuation atmosphérique, μ , est obtenu d'après l'équation (5):

$$\mu = 10^{-3} \times \frac{3,91}{20} \times \left(\frac{0,55}{0,55} \right)^A = 1,95 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

Il est maintenant possible d'obtenir la DNRO modifiée à partir de l'équation (4):

$$r_{\mu} = 0,5 \times 7,07 (1 + e^{-(1,95 \times 10^{-4} \times 7,07 \times 10^3)}) \text{ m} = 4,4 \text{ km}$$

NOTE – Une solution exacte de l'équation (1) donne une DNRO de 4,3 km.

Exemple A.5-4:

Un laser de topographie à He-Ne ($\lambda = 633 \text{ nm}$) d'une puissance d'émission de 3 mW émet un faisceau de diamètre initial 13 mm, qui s'élargit à un diamètre de 18 mm à une distance de 50 m du laser.

- Pendant combien de temps peut-on regarder directement le laser sans danger à partir d'un point situé à 65 m ?
- Quelle est la distance minimale de vision directe sans danger de ce laser pour une durée de 3 min ?

Solution:

Substituting in equation (3) gives:

$$\text{NOHD} = \frac{\sqrt{(4 \times 4) / 10 \pi} - 0,001}{0,7 \times 10^{-3}} \text{ m} = \frac{0,7136 - 0,001}{0,7 \times 10^{-3}} \text{ m} = 1,018 \text{ km}$$

Example A.5-2

Beam expanding optics are fitted to the laser in the previous example which reduces the beam divergence to 0,1 mrad and increases the beam diameter to 7 mm. Calculate the NOHD.

Solution:

The new NOHD is:

$$\text{NOHD} = \frac{\sqrt{(4 \times 4) / 10 \pi} - 7 \times 10^{-3}}{0,1 \times 10^{-3}} \text{ m} = 7,07 \text{ km}$$

Note the importance of beam divergence in determining the NOHD. Also note that in this case, the beam exit diameter a can be neglected.

Example A.5-3

The laser in example A.5-2 operates at 550 nm. Calculate the modified NOHD, assuming a visual range of 20 km.

Solution:

The atmospheric attenuation coefficient, μ , is obtained using equation (5):

$$\mu = 10^{-3} \times \frac{3,91}{20} \times \left(\frac{0,55}{0,55} \right)^4 = 1,95 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

The modified NOHD can now be obtained from equation (4):

$$r_{\mu} = 0,5 \times 7,07 (1 + e^{-(1,95 \times 10^{-4} \times 7,07 \times 10^3)}) \text{ m} = 4,4 \text{ km}$$

NOTE – An exact solution of equation (1) results in an NOHD of 4,3 km.

Example A.5-4

A surveying He-Ne laser ($\lambda = 633 \text{ nm}$) of output power 3 mW emits a beam of initial diameter 13 mm, which expands to 18 mm at a distance of 50 m from the laser:

- How long is it safe to view the laser directly from a distance of 65 m?
- What is the minimum distance for safe direct viewing of this laser for a period of 3 min?

Solution:

a) La puissance de sortie $P_0 = 3 \times 10^{-3}$ W, et le diamètre initial du faisceau $a = 0,013$ m; par conséquent la divergence est

$$\phi = \frac{0,018 - 0,013}{50} \text{ rad} = 10^{-4} \text{ rad}$$

Pour une durée d'exposition comprise entre 10 s et 10^4 s, l'EMP appropriée est donnée au tableau 6 comme une des deux possibilités dépendant du temps d'exposition, t , en relation avec la valeur de transition, T_2 :

1er cas: si le temps d'exposition $t < T_2$

$$H_{EMP} = 18 C_6 t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

qui est équivalent à:

$$E_{EMP} = 18 C_6 t^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

2e cas: si le temps d'exposition $t > T_2$

$$H_{EMP} = 10^2 C_3 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

qui est équivalent à:

$$E_{EMP} = 10^2 C_3 C_6 t^{-1} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

NOTE – Tous les facteurs de correction figurent dans les «Notes des tableaux 1 à 4». Les expressions en éclairage énergétique sont souvent plus aisées pour la résolution des problèmes de distance.

C'est une vision de source de type ponctuel; par suite, $\alpha \leq \alpha_{\min}$ et $C_6 = 1$ (on devrait souligner que la dimension de la source n'est jamais le diamètre du faisceau laser de sortie sauf si un diffuseur ou un réseau laser sert de pupille de sortie).

Le temps d'exposition au point de transition T_2 est fonction de la longueur d'onde et est donné par:

$$T_2 = 10 \times 10^{0,02(\lambda-550)} \text{ s} = 10 \times 10^{0,02(633-550)} \text{ s} = 457 \text{ s}$$

Cette partie de problème est résolue en égalisant d'une part l'expression de l'EMP en éclairage énergétique donnée auparavant avec celle d'autre part de l'éclairage énergétique à la distance r (c'est-à-dire, équation 1), et ensuite en trouvant la valeur du temps d'exposition t . Ainsi, en présumant que le cas 1 est valable (c'est-à-dire, $t < T_2$), la durée d'exposition maximale est obtenue par la résolution des expressions suivantes pour t :

$$E_{EMP} = 18 t^{-0,25} = \frac{4 P_0}{\pi (a + r\phi)^2}$$

$$18 t^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = \frac{4 \times 3 \times 10^{-3}}{\pi (0,013 + 65 \times 10^{-4})^2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 10,05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{Ainsi } t = \left(\frac{10,05}{18} \right)^{-4} = 10,3 \text{ s}$$

Solution:

- a) The output power $P_0 = 3 \times 10^{-3}$ W, and the initial beam diameter $a = 0,013$ m. The beam divergence is therefore

$$\phi = \frac{0,018 - 0,013}{50} \text{ rad} = 10^{-4} \text{ rad}$$

For an exposure duration between 10 s and 10^4 s, the appropriate MPE is given in table 6 as one of two possibilities depending on the exposure time, t , relative to a breakpoint, T_2 :

1st case: If the exposure time $t < T_2$

$$H_{\text{MPE}} = 18 C_6 t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

which is equivalent to:

$$E_{\text{MPE}} = 18 C_6 t^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

2nd case: If the exposure time $t > T_2$

$$H_{\text{MPE}} = 10^2 C_3 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

which is equivalent to:

$$E_{\text{MPE}} = 10^2 C_3 C_6 t^{-1} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

NOTE – All correction factors are listed in the "notes to tables 1 to 4". The irradiance expressions are often a more convenient form for the solution of ranging problems.

This is a point-source type viewing condition; therefore, $\alpha \leq \alpha_{\min}$ and $C_6 = 1$ (it should be emphasized that the source size is never the diameter of the laser output beam unless a diffuser or a laser array is output aperture).

The exposure time breakpoint, T_2 , depends upon wavelength and is given by:

$$T_2 = 10 \times 10^{0,02(\lambda-550)} \text{ s} = 10 \times 10^{0,02(633-550)} \text{ s} = 457 \text{ s}$$

This part of the problem is solved by equating the irradiance MPE expressions given above with the irradiance at a range r expression (i.e., equation 1), and solving for the exposure duration t . Thus, assuming that case 1 is valid (i.e., $t < T_2$), then the maximum exposure duration is obtained by solving the following expression for t :

$$E_{\text{MPE}} = 18 t^{-0,25} = \frac{4 P_0}{\pi (a + r\phi)^2}$$

$$18 t^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = \frac{4 \times 3 \times 10^{-3}}{\pi (0,013 + 65 \times 10^{-4})^2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 10,05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{Thus } t = \left(\frac{10,05}{18} \right)^4 = 10,3 \text{ s}$$

Le temps d'exposition $t = 10,3$ s est inférieur à T_2 , de sorte qu'il n'est pas nécessaire de traiter le second cas.

Pour b): Il est possible d'obtenir la distance minimale de vision sans danger à partir de l'équation (3) pour la distance nominale de risque oculaire (DNRO). Dans ce cas, la durée d'exposition $t = 180$ s est utilisée, laquelle est encore inférieure à T_2 et par suite le cas 1 s'applique encore:

$$r_{\text{DNRO}} = \frac{1}{\phi} \times \left(\sqrt{\frac{4 P_0}{\pi E_{\text{MPE}}}} - a \right)$$

$$r_{\text{DNRO}} = \frac{1}{10^{-4}} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 3 \times 10^{-3}}{\pi \times 18 \times (180)^{-0,25}}} - 0,013 \right) \text{ m} = 148,8 \text{ m}$$

NOTE – Pour de courtes distances, a peut être plus important que $r\phi$, comme dans cet exemple. On peut négliger l'atténuation du faisceau due à l'atmosphère pour des calculs de sécurité à courte distance. Ceci compense partiellement la non-uniformité de l'intensité du faisceau laser en champ lointain.

Exemple A.5-5:

Un instrument de topographie portatif, équipé d'un laser à infrarouge, a les caractéristiques suivantes:

la longueur d'onde λ est 903 nm;

la fréquence de répétition des impulsions F est 300 Hz;

la puissance de l'impulsion P_p est 30 W;

l'énergie par impulsion Q_p est 6×10^{-7} J;

la divergence du faisceau ϕ est 10 mrad;

le diamètre effectif de la pupille de sortie (faisceau de section circulaire équivalente) est 55 mm.

Evaluer la DNRO pour cet instrument a) pour la vision à l'oeil nu et b) dans le cas d'emploi de jumelles 8 × 50.

Solution:

a) Condition de vision à l'oeil nu

Il y a trois étapes dans cette évaluation pour une source laser impulsionnelle; la première et la seconde sont basées sur l'accès à l'oeil d'une seule impulsion de rayonnement, et la troisième est déterminée par les effets cumulatifs moyens d'une exposition à des impulsions multiples.

C'est une condition de vision dans le faisceau, ainsi $C_6 = 1$. S'il n'y a pas de vision intentionnelle, la durée d'exposition à appliquer est de 100 s. Pendant cette durée, le nombre d'impulsions est:

$$N = F \times t = 300 \text{ Hz} \times 100 \text{ s} = 3 \times 10^4$$

Evaluation pour une impulsion unique

A partir des spécifications du laser $700 \text{ nm} < \lambda < 1050 \text{ nm}$, la largeur d'impulsion t_p est donnée par $30 \text{ W} \times t_p = 6 \times 10^{-7} \text{ s}$, ainsi $t_p = 20 \text{ ns}$.

The exposure time $t = 10,3$ s is less than T_2 , so there is no reason to evaluate the second case.

For b): The minimum range for safe viewing can be obtained by solving equation (3) for the nominal optical hazard distance (NOHD). In this case, the exposure duration $t = 180$ s is used which is still less than T_2 and therefore case 1 still applies:

$$r_{\text{NOHD}} = \frac{1}{\phi} \times \left(\sqrt{\frac{4 P_0}{\pi E_{\text{MPE}}}} - a \right)$$

$$r_{\text{NOHD}} = \frac{1}{10^{-4}} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 3 \times 10^{-3}}{\pi \times 18 \times (180)^{-0,25}}} - 0,013 \right) \text{ m} = 148,8 \text{ m}$$

NOTE – For short distances a may be more significant than $r\phi$, as in this example. It is valid to ignore beam attenuation due to the atmosphere for short range safety calculations; this partly compensates for non-uniformity of the laser beam intensity in the far-field.

Example A.5-5

A hand-held infra-red laser surveying instrument has the following characteristics:

- wavelength λ is 903 nm;
- pulse repetition frequency F is 300 Hz;
- pulse power P_p is 30 W;
- pulse energy Q_p is 6×10^{-7} J;
- beam divergence ϕ is 10 mrad;
- effective exit aperture diameter (equivalent circular section beam) is 55 mm.

Assess the NOHD for this instrument a) for viewing by the unaided eye, and b) when using 8×50 binoculars.

Solution:

a) Unaided eye condition

There are three stages to this assessment for a pulsed laser source; the first two are on the basis of the pulses entering the eye, and the third is determined by the accumulative and averaged effects of a multi-pulse exposure.

This is an intrabeam viewing condition, thus $C_6 = 1$. If there is no intentional viewing, the exposure time to be used is 100 s; during this time the number of pulses is:

$$N = F \times t = 300 \text{ Hz} \times 100 \text{ s} = 3 \times 10^4$$

Single-pulse assessment

From the laser specification $700 \text{ nm} < \lambda < 1\,050 \text{ nm}$, the pulse width t_p is given by $30 \text{ W} \times t_p = 6 \times 10^{-7} \text{ J}$, thus $t_p = 20 \text{ ns}$.

Le tableau 6 donne pour l'EMP d'une impulsion unique pour ce rayonnement avec la durée d'exposition de 20 ns, comme:

$$H_{EMP} = 5 \times 10^{-3} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

où $C_4 = 10^{(903-700)/500} = 2,55$ et $C_6 = 1$.

Evaluation pour des impulsions multiples

Le facteur de correction $N^{-1/4} = 7,60 \times 10^{-2}$ est utilisé pour calculer l'EMP réduite d'une impulsion unique ($H_{EMP,train}$), selon 13.3:

$$H_{EMP,unique} = H_{EMP} = 5 \times 10^{-3} \times 2,55 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 1,275 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$H_{EMP,train} = N^{-1/4} H_{EMP,unique} = 7,60 \times 10^{-2} \times 1,275 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 9,69 \times 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

A partir de la valeur de $H_{EMP,train}$, il est possible de calculer la valeur correspondante exprimée en éclairement énergétique:

$$E_{EMP,train} = \frac{H_{EMP,train}}{t_p} = \frac{9,69 \times 10^{-4}}{20 \times 10^{-9}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 4,84 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Pour trouver la distance à laquelle ce seuil pour une impulsion unique est dépassé, on utilise l'équation donnant la distance dans l'exemple précédent:

$$r_{DNRO} = \frac{1}{\phi} \times \left(\sqrt{\frac{4 P_p}{\pi E_{EMP,train}}} - a \right)$$

$$r_{DNRO} = \frac{1}{0,01} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 30}{\pi \times 4,82 \times 10^4}} - 0,055 \right) \text{ m} = -2,68 \text{ m}$$

Cette valeur de r_{DNRO} est négative. Ainsi conformément à l'évaluation pour des impulsions multiples, on peut s'exposer sans danger à ce faisceau laser à n'importe quelle distance, sur la base de la valeur de seuil pour une impulsion unique.

Evaluation pour une exposition moyenne

A partir du tableau 6, l'EMP pour une exposition de 100 s est:

$$H_{EMP} = 18 t^{0,75} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

où $C_4 = 2,55$ et $C_6 = 1$.

La limite pour l'éclairement énergétique moyen dans le train d'impulsions (voir 13.3) est comme suit:

$$E_{EMP,moy} = \frac{H_{EMP}}{t} = \frac{18 \times 100^{0,75} \times 2,55}{100} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 14,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Table 6 gives the single-pulse MPE for this radiation with the exposure time of 20 ns, as:

$$H_{\text{MPE}} = 5 \times 10^{-3} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

where $C_4 = 10^{(903-700)/500} = 2,55$ and $C_6 = 1$.

Multiple-pulse assessment

The correction factor $N^{-1/4} = 7,60 \times 10^{-2}$ is used to calculate a reduced single-pulse MPE ($H_{\text{MPE,train}}$), in accordance with 13.3:

$$H_{\text{MPE,single}} = H_{\text{MPE}} = 5 \times 10^{-3} \times 2,55 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 1,275 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$H_{\text{MPE,train}} = N^{-1/4} H_{\text{MPE,single}} = 7,60 \times 10^{-2} \times 1,275 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 9,69 \times 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

From the value of $H_{\text{MPE,train}}$, the corresponding value in irradiance can be derived:

$$E_{\text{MPE,train}} = \frac{H_{\text{MPE,train}}}{t_p} = \frac{9,69 \times 10^{-4}}{20 \times 10^{-9}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 4,84 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

To find the range at which this threshold for a single-pulse is exceeded, the range equation of the previous example is used:

$$r_{\text{NOHD}} = \frac{1}{\phi} \times \left(\sqrt{\frac{4 P_p}{\pi E_{\text{MPE,train}}}} - a \right)$$

$$r_{\text{NOHD}} = \frac{1}{0,01} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 30}{\pi \times 4,82 \times 10^4}} - 0,055 \right) \text{ m} = -2,68 \text{ m}$$

This value of r_{NOHD} is negative. Thus, according to the multiple-pulse assessment, it is thus safe to suffer exposure to this laser beam at any range, on the basis of the single-pulse threshold value.

Averaged exposure assessment

From table 6, the MPE for the exposure of 100 s is:

$$H_{\text{MPE}} = 18 t^{0,75} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

where $C_4 = 2,55$ and $C_6 = 1$.

The limit for the average irradiance of the pulse train (see 13.3) is the following:

$$E_{\text{MPE,avg}} = \frac{H_{\text{MPE}}}{t} = \frac{18 \times 100^{0,75} \times 2,55}{100} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 14,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

La puissance moyenne dans le train d'impulsions est

$$P_{\text{moy}} = P_p \times t_p \times F = 30 \text{ W} \times 20 \times 10^{-9} \text{ s} \times 300 \text{ Hz} = 1,8 \times 10^{-4} \text{ W}$$

Par suite, la limite pour la distance est la suivante:

$$r_{\text{DNRO}} = \frac{1}{\phi} \times \left(\sqrt{\frac{4 P_{\text{moy}}}{\pi E_{\text{EMP,moy}}}} - a \right)$$

$$r_{\text{DNRO}} = \frac{1}{0,01} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 1,8 \times 10^{-4}}{\pi \times 14,5}} - 0,055 \right) \text{ m} = -5,10 \text{ m}$$

Ce résultat est négatif. Ainsi, également en utilisant l'exposition moyenne, l'instrument n'est pas dangereux à n'importe quelle distance. Donc, la DNRO propre vaut zéro pour cet instrument où seule une vision à l'oeil nu est prise en compte.

b) Condition de vision avec des jumelles

Le diamètre de la pupille de sortie de l'instrument est $50,8 \text{ mm} \approx 6,25 \text{ mm}$. Puisque cette valeur est inférieure à 7 mm, on supposera que la totalité du rayonnement entre dans l'oeil.

L'accroissement de l'éclairement énergétique au niveau de l'oeil par rapport à celui qui existe sur la lentille frontale de l'objectif de l'instrument est donné par:

$$G^2 = \left(\frac{D_o}{7 \times 10^{-3}} \right)^2 = \left(\frac{5,0 \times 10^{-2} \text{ m}}{7 \times 10^{-3} \text{ m}} \right)^2 = 51$$

où il est présumé qu'il n'y a pas d'atténuation donnée par les optiques de l'instrument.

Comme l'évaluation d'une impulsion unique donne la condition la plus restrictive pour r dans ce cas, l'EMP réduite pour une impulsion unique ($E_{\text{EMP,train}}$) doit être utilisée pour déterminer la DNRO. L'éclairement énergétique maximal permis au niveau de l'objectif est réduit par un facteur G^{-2} :

$$E_{\text{EMP}}(\text{jumelles}) = G^{-2} \times E_{\text{EMP}}(\text{oeil nu}) = 1,96 \times 10^{-2} \times 4,84 \times 10^4 = 949 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

La distance à partir du laser, pour laquelle l'éclairement énergétique pour une impulsion unique tombe à $949 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ est donnée par:

$$r_{\text{DNRO}} = \frac{1}{0,01} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 30}{\pi \times 949}} - 0,055 \right) \text{ m} = 14,6 \text{ m}$$

Il serait par conséquent dangereux d'observer cet instrument à laser avec de telles jumelles à des distances inférieures à 14,6 m.

Cet exemple illustre les dangers importants impliqués par l'emploi en plein air de lasers à rayonnement invisible. En raison de la prescription, pour les questions de classification, d'un diamètre de 50 mm pour l'optique collectrice, l'appareil à laser mentionné plus haut devrait être de la classe 3B.

The average power of the pulse train is:

$$P_{\text{avg}} = P_p \times t_p \times F = 30 \text{ W} \times 20 \times 10^{-9} \text{ s} \times 300 \text{ Hz} = 1,8 \times 10^{-4} \text{ W}$$

Therefore the limit for the distance is

$$r_{\text{NOHD}} = \frac{1}{\phi} \times \left(\sqrt{\frac{4 P_{\text{avg}}}{\pi E_{\text{MPE,avg}}}} - a \right)$$

$$r_{\text{NOHD}} = \frac{1}{0,01} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 1,8 \times 10^{-4}}{\pi \times 14,5}} - 0,055 \right) \text{ m} = -5,10 \text{ m}$$

This result is negative. Thus, on the basis of the averaged exposure, the instrument is safe for viewing by the unaided eye at any distance. Therefore, for this instrument when only viewing by the unaided eye is involved, the appropriate NOHD is zero.

b) Binocular viewing condition

The pupil exit diameter of this instrument is $50/8 \text{ mm} = 6,25 \text{ mm}$. Since this is less than 7 mm, it is assumed that all of this radiation enters the eye.

The increase in irradiance at the eye over that which exists at the instruments objective lens is given by:

$$G^2 = \left(\frac{D_o}{7 \times 10^{-3}} \right)^2 = \left(\frac{5,0 \times 10^{-2} \text{ m}}{7 \times 10^{-3} \text{ m}} \right)^2 = 51$$

where it is assumed that there is no attenuation through the optics.

Since the single-pulse assessment gives the most restricted condition for r in this case, the reduced single-pulse MPE ($E_{\text{MPE,train}}$) must be used to determine the NOHD. The maximum permitted irradiance at the objective lens is reduced by the factor G^{-2} :

$$E_{\text{MPE}}(\text{binocular}) = G^{-2} \times E_{\text{MPE}}(\text{unaided}) = 1,96 \times 10^{-2} \times 4,84 \times 10^4 = 949 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

The range from the laser at which the single-pulse irradiance falls to $949 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ is given by:

$$r_{\text{NOHD}} = \frac{1}{0,01} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 30}{\pi \times 949}} - 0,055 \right) \text{ m} = 14,6 \text{ m}$$

It is consequently hazardous for this laser instrument to be viewed with binoculars at distances of less than 14,6 m.

This example serves to illustrate the wide hazards involved in using invisible radiation lasers in open areas. Because of the requirement for 50 mm diameter collecting optics in classification, the above mentioned laser product would be classified as Class 3B.

Exemple A.5-6:

Un télémètre à laser au verre au néodyme déclenché a les caractéristiques suivantes:

- longueur d'onde = 1 060 nm;
- puissance crête de l'impulsion $P_p = 1,5$ MW;
- énergie par impulsion = 45 mJ;
- fréquence de répétition des impulsions = 12 par minute;
- diamètre de la pupille de sortie du faisceau = 10 mm;
- angle de divergence du faisceau = 1 mrad.

Quelle est la DNRO effective sur la base du seuil pour une impulsion unique (a) pour une exposition de l'oeil nu, et (b) dans le cas de la vision dans le faisceau à travers une optique de 50 mm de diamètre ? (Les effets d'atténuation du faisceau ou de focalisation dus à la transmission atmosphérique seront négligés dans ces calculs.)

Solution:

a) Condition de vision à l'oeil nu

La largeur d'impulsion t_p peut être calculée d'après $1,5 \times 10^6 \text{ W} \times t_p = 45 \times 10^{-3} \text{ J}$, ce qui donne $t_p = 30 \text{ ns}$ (c'est-à-dire $10^{-9} \text{ s} < t_p < 5 \times 10^{-5} \text{ s}$). La fréquence de répétition des impulsions F est $12/60 = 0,2 \text{ Hz}$.

C'est une condition de vision dans le faisceau, ainsi $C_6 = 1$. S'il n'y a pas de vision intentionnelle, la durée d'exposition à appliquer est de 100 s; pour cette durée le nombre d'impulsions est:

$$N = F \times t = 0,2 \text{ Hz} \times 100 \text{ s} = 20$$

Evaluation pour une impulsion unique

A partir du tableau 6, l'EMP pour l'exposition à une impulsion unique de ce laser est:

$$H_{\text{EMP}} = 5 \times 10^{-2} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

où $C_6 = 1$ et $C_7 = 1$.

Evaluation pour des impulsions multiples

Le facteur de correction $N^{-1/4} = 4,73 \times 10^{-1}$ est utilisé pour calculer $H_{\text{EMP,train}}$ (voir 13.3):

$$H_{\text{EMP,unique}} = H_{\text{EMP}} = 5 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

et

$$H_{\text{EMP,train}} = H_{\text{EMP,unique}} N^{-1/4} = 5 \times 10^{-2} \times 4,73 \times 10^{-1} = 2,36 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

A partir de la valeur de $H_{\text{EMP,train}}$, il est possible de calculer la valeur correspondante exprimée en éclairage énergétique:

$$E_{\text{EMP,train}} = \frac{H_{\text{EMP,train}}}{t_p} = \frac{2,36 \times 10^{-2}}{30 \times 10^{-9}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 7,87 \times 10^5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Example A.5-6

A neodymium-glass Q-switched laser rangefinder has the following characteristics:

- wavelength = 1 060 nm;
- peak pulse power $P_p = 1,5$ MW;
- energy per pulse = 45 mJ;
- pulse repetition rate = 12 per minute;
- exit aperture beam diameter = 10 mm;
- beam divergence angle = 1 mrad.

What is the effective NOHD on the basis of the single-pulse threshold (a) for exposure of the unaided eye, and (b) when intrabeam viewing through 50 mm diameter optics is involved? (Effects of beam attenuation or refractive focusing due to atmospheric transmission are neglected in these calculations.)

Solution:

a) Unaided eye condition

The pulse width t_p can be calculated from by $1,5 \times 10^6 \text{ W} \times t_p = 45 \times 10^{-3} \text{ J}$, giving $t_p = 30 \text{ ns}$ (i.e. $10^{-9} \text{ s} < t_p < 5 \times 10^{-5} \text{ s}$). The pulse repetition frequency F is $12/60 = 0,2 \text{ Hz}$.

This is an intrabeam viewing condition, thus $C_6 = 1$. If there is no intentional viewing, the exposure time to be used is 100 s; during this time the number of pulses is:

$$N = F \times t = 0,2 \text{ Hz} \times 100 \text{ s} = 20$$

Single-pulse assessment

From table 6 the MPE for a single-pulse exposure from this laser is:

$$H_{\text{MPE}} = 5 \times 10^{-2} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

where $C_6 = 1$ and $C_7 = 1$.

Multiple-pulse assessment

The correction factor $N^{-1/4} = 4,73 \times 10^{-1}$ is used to calculate $H_{\text{MPE,train}}$ (see 13.3):

$$H_{\text{MPE,single}} = H_{\text{MPE}} = 5 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{and } H_{\text{MPE,train}} = H_{\text{MPE,single}} N^{-1/4} = 5 \times 10^{-2} \times 4,73 \times 10^{-1} = 2,36 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

From the value of $H_{\text{MPE,train}}$, the corresponding value in irradiance can be derived:

$$E_{\text{MPE,train}} = \frac{H_{\text{MPE,train}}}{t_p} = \frac{2,36 \times 10^{-2}}{30 \times 10^{-9}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 7,87 \times 10^5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Pour trouver la distance à laquelle ce seuil est dépassé conformément à l'évaluation pour des impulsions multiples, on utilise l'équation donnant la distance dans l'exemple précédent:

$$r_{\text{DNRO}} = \frac{1}{\phi} \times \left(\sqrt{\frac{4 P_p}{\pi E_{\text{EMP,train}}}} - a \right)$$

$$r_{\text{DNRO}} = \frac{1}{10^{-3}} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 1,5 \times 10^6}{\pi \times 7,87 \times 10^5}} - 0,01 \right) \text{ m} = 1,55 \text{ km}$$

Evaluation pour une exposition moyenne

A partir du tableau 6, l'EMP pour une exposition de durée 100 s est

$$H_{\text{MPE}} = 90 \times t^{0,75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

où $C_6 = 1$ et $C_7 = 1$.

En termes d'éclairement énergétique, l'EMP est donnée par:

$$E_{\text{EMP,moy}} = \frac{H_{\text{EMP}}}{t} = \frac{90 \times 100^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}}{100 \text{ s}} = 28,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

La puissance moyenne dans le train d'impulsions est:

$$P_{\text{moy}} = P_p \times t_p \times F = 1,5 \times 10^6 \text{ W} \times 30 \times 10^{-9} \text{ s} \times 0,2 \text{ Hz} = 9 \times 10^{-3} \text{ W}$$

Par suite, la DNRO pour l'exposition moyenne est donnée par:

$$r_{\text{DNRO}} = \frac{1}{\phi} \times \left(\sqrt{\frac{4 P_{\text{moy}}}{\pi E_{\text{EMP,moy}}}} - a \right)$$

$$r_{\text{DNRO}} = \frac{1}{10^{-3}} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 9 \times 10^{-3}}{\pi \times 28,5}} - 0,01 \right) \text{ m} = 10,05 \text{ m}$$

La DNRO pour le télémètre est la plus grande des deux valeurs de r_{DNRO} qui ont été calculées. Dans cet exemple, la plus grande valeur de r_{DNRO} est donnée par l'évaluation pour une impulsion unique; par suite, DNRO = 1,55 km.

Si un filtre à transmission de 10 % est disposé à la pupille de sortie de l'appareil, la DNRO est réduite. Dans ce cas, la DNRO doit être calculée en utilisant la formule de l'évaluation pour une impulsion unique, car on doit prendre en compte la condition la plus sévère. La puissance crête doit être modifiée en introduisant le facteur 0,1, pour tenir compte de l'effet du filtre à transmission de 10 %. Par suite, la DNRO modifiée est donnée par:

$$\text{DNRO} = \frac{1}{10^{-3}} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 0,1 \times 1,5 \times 10^6}{\pi \times 7,87 \times 10^5}} - 0,01 \right) \text{ m} = 483 \text{ m}$$

To find the distance at which this threshold is exceeded according to the multiple-pulse assessment, the range equation of the previous examples is used:

$$r_{\text{NOHD}} = \frac{1}{\phi} \times \left(\sqrt{\frac{4 P_p}{\pi E_{\text{MPE,train}}}} - a \right)$$

$$r_{\text{NOHD}} = \frac{1}{10^{-3}} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 1,5 \times 10^6}{\pi \times 7,87 \times 10^5}} - 0,01 \right) \text{ m} = 1,55 \text{ km}$$

Averaged exposure assessment

From table 6, the MPE for the exposure time of 100 s is

$$H_{\text{MPE}} = 90 \times t^{0,75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

where $C_6 = 1$ and $C_7 = 1$.

In terms of irradiance, the MPE is given by:

$$E_{\text{MPE,avg}} = \frac{H_{\text{MPE}}}{t} = \frac{90 \times 100^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}}{100 \text{ s}} = 28,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

The average power of the pulse train is:

$$P_{\text{avg}} = P_p \times t_p \times F = 1,5 \times 10^6 \text{ W} \times 30 \times 10^{-9} \text{ s} \times 0,2 \text{ Hz} = 9 \times 10^{-3} \text{ W}$$

Therefore the NOHD for the averaged exposure is given by:

$$r_{\text{NOHD}} = \frac{1}{\phi} \times \left(\sqrt{\frac{4 P_{\text{avg}}}{\pi E_{\text{MPE,avg}}}} - a \right)$$

$$r_{\text{NOHD}} = \frac{1}{10^{-3}} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 9 \times 10^{-3}}{\pi \times 28,5}} - 0,01 \right) \text{ m} = 10,05 \text{ m}$$

The NOHD for the rangefinder is the greatest of the two values of r_{NOHD} which have been calculated. In this example, the greatest value of r_{NOHD} is given by the multiple-pulse assessment; therefore, NOHD = 1,55 km.

If a 10 % transmission filter is fitted to the output aperture of this instrument the NOHD is reduced. In this case, the NOHD must be calculated using the formula of the single-pulse assessment, because the most restrictive condition must be considered. The peak power must be modified by the factor 0,1, to take into account the effect of the 10 % transmission filter. The modified NOHD is therefore given by:

$$\text{NOHD} = \frac{1}{10^{-3}} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 0,1 \times 1,5 \times 10^6}{\pi \times 7,87 \times 10^5}} - 0,01 \right) \text{ m} = 483 \text{ m}$$

b) Condition de vision à l'aide de jumelles

Quand des optiques collectrices de 50 mm de diamètre sont utilisées pour la vision dans le faisceau de ce laser, la DNRO est majorée, car l'éclairement énergétique maximal permis est réduit par le facteur de gain:

$$G^{-2} = \left(\frac{7 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \right)^2 = 1,96 \times 10^{-2}$$

Les équations de l'évaluation pour une impulsion unique, modifiées par l'introduction du facteur de gain $1,96 \times 10^{-2}$, donnent le résultat suivant pour la DNRO:

$$DNRO = \frac{1}{10^{-3}} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 1,5 \times 10^6}{\pi \times 1,96 \times 10^{-2} \times 7,87 \times 10^5}} - 0,01 \right) \text{ m} = 1112 \text{ km}$$

Ainsi, en considérant la très faible durée d'impulsion de ce laser, malgré la très courte exposition au rayonnement laser de l'oeil pendant que le système télescopique est utilisé, il est dangereux à des distances du laser inférieures à 11,12 km.

A.6 Limites d'émission accessible pour des sources de type ponctuel à faisceau divergent

Introduction:

On est en présence de conditions de vision lorsque les conditions de vision d'une source étendue ne sont pas remplies, c'est-à-dire lorsque la source apparente (par exemple, approximativement le col du faisceau pour les faisceaux à divergence élevée) qui forme l'image rétinienne apparaît sous un angle α n'excédant pas le diamètre apparent limite $\alpha_{\min}$ lorsqu'il est déterminé à la distance de mesurage (non inférieure à 100 mm). Des exemples de telles sources sont les faisceaux laser (collimatés ou focalisés), des faisceaux passant par une petite ouverture, les extrémités de fibres optiques ou la surface émettrice d'un laser à semi-conducteur.

Tous les exemples de cette section supposent que le faisceau sortant de la source ponctuelle est divergent (c'est-à-dire non collimaté) et que le profil du faisceau en champ lointain est gaussien. L'approximation gaussienne simplifie les calculs et permet une estimation prudente pour un grand nombre de sources à faisceau divergent (par exemple les fibres optiques). De plus, tous les exemples supposent qu'une vision intentionnelle n'est pas attachée à la conception ou à la fonction des sources décrites; par suite, la base de temps utilisée est de 100 s (voir 9.3 e)).

Diamètre d'un faisceau divergent

Le diamètre d'un faisceau divergent, d_{63} , à la distance r de la source apparente est nécessaire pour faire les calculs de LEA et d'EMP impliquant une ouverture. La plupart des fabricants de sources à faisceau divergent préciseront la divergence en termes d'ouverture numérique (ON). L'ON d'une source ponctuelle est définie comme égale au sinus de la demi-divergence, ϕ , du faisceau de sortie, mesurée aux points d'éclairement énergétique à 5 % de la crête. Soit:

$$ON = \sin \frac{\phi}{2}$$

et

$$\frac{\phi}{2} = \arcsin (ON)$$

b) Binocular viewing condition

When 50 mm diameter collecting optics are involved in the intrabeam viewing of this laser, the NOHD is increased because the maximum permitted irradiance is reduced by the gain factor:

$$G^{-2} = \left(\frac{7 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \right)^2 = 1,96 \times 10^{-2}$$

The equation for the multiple-pulse assessment, modified by the insertion of the gain factor $1,96 \times 10^{-2}$, gives the following result for the NOHD:

$$\text{NOHD} = \frac{1}{10^{-3}} \times \left(\sqrt{\frac{4 \times 15 \times 10^6}{\pi \times 196 \times 10^{-2} \times 7,87 \times 10^5}} - 0,01 \right) \text{ m} = 1112 \text{ km}$$

Thus, in view of the very short pulse duration for this laser, while a telescopic system is used, even the briefest exposure of the eye to the laser radiation is hazardous at distances less than 11,12 km from the laser.

A.6 Accessible emission limits for diverging beam, point-type sources

Introduction:

Intrabeam viewing conditions exist whenever the conditions of extended source viewing are not met, i.e., whenever the apparent source (e.g. approximately the beam waist for beams with high divergence) forming the retinal image appears at an angle α not larger than the limiting angular subtense $\alpha_{\min}$ when determined at the measurement distance (not less than 100 mm). Examples of such sources are laser beams (collimated or focused), beams through a small aperture, optical fibre ends, or the emitting surface of a semiconductor laser.

All of the examples in this section assume that the beam emerging from the point-type source is diverging (i.e., not collimated) and that the far-field beam profile is Gaussian. The Gaussian approximation simplifies calculations and works well as a conservative estimate for many divergent beam sources (e.g., optical fibre). In addition, all of the examples assume that intentional viewing is not inherent in the design or function of the sources described; therefore, the time base is 100 s (see 9.3 e)).

Diameter of a divergent beam:

The diameter of a divergent beam, d_{63} , at a distance r from the apparent source is required to perform AEL and MPE calculations involving an aperture. Most manufactures of divergent beam sources will specify the divergence in terms of a numerical aperture or NA. The NA of a point source is defined as the sine of one-half the divergence, ϕ , of the output beam, as measured at the 5 %-of-peak-irradiance points. That is

$$\text{NA} = \sin \frac{\phi}{2}$$

and

$$\frac{\phi}{2} = \arcsin(\text{NA})$$

Pour un faisceau gaussien, le diamètre du faisceau qui correspond aux points d'éclairement énergétique à 5 % de la crête contient 95 % de la puissance ou énergie totale. Le diamètre du faisceau, d_{95} , à la distance r de la source apparente est donné par:

$$d_{95} = a + 2 r \tan \frac{\phi}{2} = a + 2 r \tan (\arcsin (ON))$$

Comme a est de l'ordre de quelques dizaines de μm , il est possible de le négliger dans la plupart des cas. De plus, pour les calculs de sécurité, le diamètre du faisceau aux points à 63 % de la puissance (ou énergie) totale est utilisé de préférence à celui aux points à 95 %. Le facteur de conversion pour un faisceau gaussien est 1,7 (c'est-à-dire, $d_{95}/d_{63} = 1,7$); par suite, le diamètre du faisceau est proche de:

$$d_{63} = \frac{d_{95}}{1,7} = \frac{2 r}{1,7} \tan (\arcsin (ON)) = \frac{2 r ON}{1,7} \quad (1)$$

Une fibre optique unimodale est un cas particulier d'une source ponctuelle. La divergence d'une fibre optique unimodale est spécifiée en termes de diamètre du champ de mode, w_0 , et de longueur d'onde, λ , de la source. Le diamètre de faisceau d'une fibre optique unimodale, à la distance r , est proche de:

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2}r\lambda}{\pi w_0} \quad (2)$$

où la longueur d'onde, λ , est exprimée dans la même unité que le diamètre du champ de mode, w_0 .

Puissance à travers une ouverture:

La plupart des méthodes de classification nécessitent la mesure de la puissance (ou de l'énergie) passant à travers une ouverture spécifiée située à une distance spécifiée de la source apparente. Pour un faisceau gaussien, la fraction de la puissance (ou de l'énergie) totale passant à travers une ouverture circulaire de diamètre, d_a , à la distance r , peut être exprimée en termes de paramètre de couplage

$$\eta = 1 - e^{-\left(\frac{d_a}{d_{63}}\right)^2} \quad (3)$$

où d_{63} est le diamètre du faisceau, déterminé aux points à 63 % (c'est-à-dire, les points à $1/e$ pour un faisceau gaussien) à la distance d'ouverture. La puissance totale (ou énergie) passant à travers l'ouverture est

$$P_a = \eta P_0 \text{ ou } Q_a = \eta Q_0 \quad (4)$$

où P_0 est la puissance totale (et Q_0 est l'énergie totale) émise par la source apparente.

Exemple A.6-1:

Une transmission par fibre optique émet à une longueur d'onde de 850 nm à partir d'une fibre multimode de diamètre de coeur de 100 μm avec une ouverture numérique de 0,3. Si la transmission fonctionne en mode continu, quelle est la puissance totale maximale permise par la LEA en classe 1 ?

For a Gaussian beam, the beam diameter that corresponds to the 5 %-of-peak-irradiance points contains 95 % of the total power or energy. The beam diameter, d_{95} , at a distance r from the apparent source is given by:

$$d_{95} = a + 2 r \tan \frac{\phi}{2} = a + 2 r \tan (\arcsin (NA))$$

Since a is of the order of a few tens of μm , it can be ignored in most situations. In addition, for safety calculations the beam diameter at the 63 % total power (or energy) points is used rather than the 95 % points. The conversion factor for a Gaussian beam is 1,7 (i.e., $d_{95}/d_{63} = 1,7$); hence, the beam diameter is approximated by:

$$d_{63} = \frac{d_{95}}{1,7} = \frac{2 r}{1,7} \tan (\arcsin (NA)) = \frac{2 r NA}{1,7} \quad (1)$$

A single-mode optical fibre is a special case of a point-type optical source. The divergence of a single-mode fibre is specified in terms of the fibre mode-field diameter, w_0 , and the wavelength, λ , of the source. The beam diameter of a single-mode optical fibre, at a distance r , is approximated by:

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2} r \lambda}{\pi w_0} \quad (2)$$

where the wavelength, λ , is expressed in the same units as the mode-field diameter, w_0 .

Power passing through an aperture:

Many of the classification procedures require the measurement of the power (or energy) passing through a specified aperture located at a specified distance from the apparent source. For a Gaussian beam, the fraction of the total power (or energy) passing through a circular aperture of diameter, d_a , at a distance r , can be expressed in terms of a coupling parameter

$$\eta = 1 - e^{-\left(\frac{d_a}{d_{63}}\right)^2} \quad (3)$$

where d_{63} is the beam diameter, determined at the 63 % points (i.e., $1/e$ points for a Gaussian beam) at the aperture distance. The total power (or energy) passing through the aperture is

$$P_a = \eta P_o \quad \text{or} \quad Q_a = \eta Q_o \quad (4)$$

where P_o is the total power (and Q_o is the total energy) emitted from the apparent source.

Example A.6-1:

An optical-fibre transmitter emits at a wavelength of 850 nm from a 100 μm core diameter multi-mode fibre with a numerical aperture of 0,3. If the transmitter is operated in CW mode, what is the maximum total power allowed by the Class 1 AEL?

Solution:

La base de temps utilisée pour un système de classe 1 est 100 s. Le tableau 1 indique la LEA pour une émission dans la gamme de longueur d'onde de 700 à 1 050 nm avec une durée dans la gamme de $1,8 \times 10^{-5}$ à 1 000 s dont l'expression est donnée par:

$$Q_{LEA} = 7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_4 C_6 J$$

où

$$C_4 = 10^{0,002(\lambda-700)}$$

$$C_6 = 1 \text{ (source ponctuelle)}$$

NOTE – Tous les facteurs de correction sont listés dans les notes des tableaux 1 à 4.

$$P_{LEA} = \frac{Q_{LEA}}{t}$$

Par suite, pour cet exemple, la LEA est

$$P_{LEA} = 7 \times 10^{-4} \cdot 100^{-0,25} (10^{0,002(850-700)}) W = 2,2 \times 10^{-4} (2,00) W = 0,44 \text{ mW}$$

Les spécifications de mesure pour la classification données en 8.2 indiquent que P_{LEA} doit être comparée à la puissance recueillie à travers une ouverture de 50 mm à une distance de 100 mm de la source. Dans cet exemple, le diamètre de faisceau à la distance de mesurage est

$$d_{63} = \frac{2 r_{ON}}{1,7} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 0,3}{1,7} \text{ mm} = 35 \text{ mm}$$

et la fraction de la puissance totale émise qui passe par l'ouverture de mesurage est

$$P_a = \eta P_0 = \left[1 - e^{-\left(\frac{d_a}{d_{63}}\right)^2} \right] P_0 = \left[1 - e^{-\left(\frac{50}{35}\right)^2} \right] P_0 = 0,87 P_0$$

La puissance maximale de sortie en classe 1 est obtenue en égalisant P_a avec P_{LEA} :

$$P_{0,max} = \frac{P_{AEL}}{\eta} = \frac{0,44}{0,87} = 0,51 \text{ mW}$$

Cette valeur de la puissance de sortie maximale totale correspond à un fonctionnement en mode continu. Dans le cas d'une transmission numérique avec un rapport cyclique de 50 %, il est admis que la puissance d'impulsion d'une impulsion unique dans le train soit le double de la puissance en mode continu trouvée ci-dessus (elle dépend des caractéristiques du train d'impulsions, voir 9.4).

Exemple A.6-2:

Une transmission par fibre optique émettant à 780 nm est utilisée en transmission de données numériques avec un débit de 125 Mbits/s. Le code de transmission utilisé est un code équilibré (c'est-à-dire, comportant en quantité égale des éléments d'information binaire zéro et un, dans tout groupe de deux ou trois multiplets) et, par suite, la puissance moyenne émise est indépendante des données. L'ouverture numérique de l'orifice de l'appareil émetteur optique a été déterminée et se situe dans le domaine de 0,16 à 0,18. Quelle est la puissance moyenne maximale permise par les LEA en classe 3A ?