

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62471

CIE S 009:2002

Première édition
First edition
2006-07

**Sécurité photobiologique des lampes
et des appareils utilisant des lampes**

**Photobiological safety of lamps
and lamp systems**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 62471:2006

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI (www.iec.ch)**
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site (www.iec.ch)**
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

62471

CIE S 009:2002

Première édition
First edition
2006-07

**Sécurité photobiologique des lampes
et des appareils utilisant des lampes**

**Photobiological safety of lamps
and lamp systems**

© IEC 2006 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, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
1. DOMAINE D'APPLICATION.....	12
2. REFERENCES NORMATIVES	12
3. DEFINITIONS, SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS.....	12
4. LIMITES D'EXPOSITION (LES).....	24
4.1 Généralités	24
4.2 Facteurs spécifiques impliqués dans le calcul et l'application des limites d'exposition rétinienne	26
4.2.1 Diamètre de la pupille	26
4.2.2 Mesures de l'étendue angulaire de la source, dans le champ de vision	26
4.3 Limites du risque des expositions	28
4.3.1 Limite de risque lié aux expositions au rayonnement UV actinique pour la peau et l'œil	28
4.3.2 Limite de risque lié aux expositions dans le proche-UV pour l'œil	30
4.3.3 Limite de risque rétinien lié aux expositions à la lumière bleue	32
4.3.4 Limite de risque rétinien lié aux expositions à la lumière bleue - source ponctuelle	36
4.3.5 Limite de risque thermique rétinien lié aux expositions à la lumière	38
4.3.6 Limite de risque thermique rétinien lié aux expositions - stimulus visuel faible	38
4.3.7 Limite de risque lié aux expositions au rayonnement infrarouge pour l'œil	40
4.3.8 Limite de risque thermique, lié aux expositions à la lumière, pour la peau	40
5. MESURE DES LAMPES ET DES APPAREILS UTILISANT DES LAMPES.....	42
5.1 Conditions de mesure	42
5.1.1 Vieillissement des sources (stabilisation).....	42
5.1.2 Environnement de test.....	44
5.1.3 Radiation parasite	44
5.1.4 Mode opératoire de la source	44
5.1.5 Mode opératoire de l'appareil utilisant des lampes	44
5.2 Procédure de mesure	44
5.2.1 Mesures de l'éclairement énergétique.....	44
5.2.2 Mesures de la luminance énergétique.....	48
5.2.3 Mesure de la taille de la source	52
5.2.4 Mesure de la largeur des pulsations pour les sources pulsées	52
5.3 Méthodes d'analyses.....	52
5.3.1 Interpolations pour la courbe de pondération	52
5.3.2 Calculs	52
5.3.3 Détermination de l'incertitude sur la mesure	52
6. CLASSIFICATION DES LAMPES	58
6.1 Lampes en cycle continu.....	58
6.1.1 Groupe sans risque	58
6.1.2 Groupe de risque 1 (faible risque)	58
6.1.3 Groupe de risque 2 (risque modéré)	60
6.1.4 Groupe de risque 3 (risque élevé)	60
6.2 Lampes pulsées	60

CONTENTS

FOREWORD	7
INTRODUCTION	11
1. SCOPE	13
2. NORMATIVE REFERENCES	13
3. DEFINITIONS, SYMBOLS AND ABBREVIATIONS	13
4. EXPOSURE LIMITS (EL'S)	25
4.1 General	25
4.2 Specific factors involved in the determination and application of retinal exposure limits	27
4.2.1 Pupil diameter	27
4.2.2 Angular subtense of source and measurement field-of-view	27
4.3 Hazard exposure limits	29
4.3.1 Actinic UV hazard exposure limit for the skin and eye	29
4.3.2 Near-UV hazard exposure limit for the eye	31
4.3.3 Retinal blue light hazard exposure limit	33
4.3.4 Retinal blue light hazard exposure limit - small source	37
4.3.5 Retinal thermal hazard exposure limit	39
4.3.6 Retinal thermal hazard exposure limit – weak visual stimulus	39
4.3.7 Infrared radiation hazard exposure limits for the eye	41
4.3.8 Thermal hazard exposure limit for the skin	41
5. MEASUREMENT OF LAMPS AND LAMP SYSTEMS	43
5.1 Measurement conditions	43
5.1.1 Lamp ageing (seasoning)	43
5.1.2 Test environment	45
5.1.3 Extraneous radiation	45
5.1.4 Lamp operation	45
5.1.5 Lamp system operation	45
5.2 Measurement procedure	45
5.2.1 Irradiance measurements	45
5.2.2 Radiance measurements	49
5.2.3 Measurement of source size	53
5.2.4 Pulse width measurement for pulsed sources	53
5.3 Analysis methods	53
5.3.1 Weighting curve interpolations	53
5.3.2 Calculations	53
5.3.3 Measurement uncertainty	53
6. LAMP CLASSIFICATION	59
6.1 Continuous wave lamps	59
6.1.1 Exempt group	59
6.1.2 Risk Group 1 (Low-Risk)	59
6.1.3 Risk Group 2 (Moderate-Risk)	61
6.1.4 Risk Group 3 (High-Risk)	61
6.2 Pulsed lamps	61

ANNEXE A (informative) RÉSUMÉ DES EFFETS BIOLOGIQUES.....	64
Données pour les effets biologique #1 Cataracte au rayonnement infrarouge	64
Données pour les effets biologiques #2 Photokératite	64
Données pour les effets biologique #3 Photorétinite	66
Données pour les effets biologique #4 Lésion rétinienne thermique.....	68
Données pour les effets biologique #5 Cataracte au rayonnement ultraviolet	70
Données pour les effets biologique #6 Erythème actinique	72
ANNEXE B (informative) METHODE DE MESURE	76
B.1 Instrumentation	76
B.1.1 Double monochromateur: instrument recommandé	76
B.1.2 Détecteur à bande large	76
B.2 Limitations de l'instrument.....	76
B.2.1 Eclairage énergétique équivalent au bruit de fond	76
B.2.2 Réponse spectrale de l'appareil	78
B.2.3 Précision sur les longueurs d'ondes	80
B.2.4 Flux énergétique parasite	80
B.2.5 Optiques d'entrée pour les mesures de l'éclairage énergétique spectrique. Recommandations	82
B.2.6 Linéarité	82
B.3 Sources pour l'étalonnage	82
ANNEXE C (informative) ANALYSE DES INCERTITUDES.....	84
ANNEXE D (informative) REFERENCES GENERALES.....	87

ANNEX A (informative) SUMMARY OF BIOLOGICAL EFFECTS	65
Bioeffect datasheet #1: Infrared cataract	65
Bioeffect datasheet #2: Photokeratitis	65
Bioeffect datasheet #3: Photoretinitis	67
Bioeffect datasheet #4: Retinal thermal injury	69
Bioeffect datasheet #5: Ultraviolet cataract	71
Bioeffect datasheet #6: Ultraviolet erythema	73
ANNEX B (informative) MEASUREMENT METHOD	77
B.1 Instrumentation	77
B.1.1 Double monochromator: Recommended instrument	77
B.1.2 Broadband detectors	77
B.2 Instrument limitations	77
B.2.1 Noise equivalent irradiance	77
B.2.2 Instrument spectral response	79
B.2.3 Wavelength accuracy	81
B.2.4 Stray radiant power	81
B.2.5 Input optics for spectral irradiance measurements: Recommendation	83
B.2.6 Linearity	83
B.3 Calibration sources	83
ANNEX C (informative) UNCERTAINTY ANALYSIS	85
ANNEX D (informative) GENERAL REFERENCES	89

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SÉCURITÉ PHOTOBIOLOGIQUE DES LAMPES ET DES APPAREILS UTILISANT DES LAMPES

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI 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 62471 a été soumise par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) et a été traitée par le comité d'études 76 de la CEI: Sécurité des rayonnements optiques et matériels laser.

Cette norme a été élaborée comme Norme CIE S 009:2002 par la Commission Internationale de l'Eclairage. Elle a été soumise aux comités nationaux de la CEI pour vote suivant la procédure par voie express, par les documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
76/340/FDIS	76/343/RVD

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**PHOTOBIOLOGICAL SAFETY OF LAMPS
AND LAMP SYSTEMS**
FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 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 IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The International Standard IEC 62471 has been submitted by the International Commission on Illumination (CIE) and has been processed through IEC technical committee 76: Optical radiation safety and laser equipment

This standard was prepared as Standard CIE S 009:2002 by the International Commission on Illumination. It was submitted to the IEC National Committees for voting under the Fast Track Procedure as the following documents:

FDIS	Report on voting
76/340/FDIS	76/343/RVD

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

La présente publication est une norme double logo.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) est une organisation qui se donne pour but la coopération internationale et l'échange d'informations entre les pays membres sur toutes les questions relatives à l'art et à la science de l'éclairage.

Préface de la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE)

Les Normes élaborées par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) constituent une collection concise de documents définissant les aspects de la lumière et de l'éclairage, pour lesquels une harmonisation internationale nécessite une définition unique. Les Normes CIE sont, par conséquent, la première source de données reconnues et acceptées internationalement, pouvant être intégrées, sans modification, dans les systèmes universels de normalisation.

La CIE a entrepris une analyse importante des recommandations officielles concernant les effets photobiologiques, leurs relations avec les doses et leurs mesures. Partant des recommandations fournies par l'ICNIRP, la CIE a entrepris d'intégrer ces recommandations dans une norme dans le cas des lampes et des appareils contenant des lampes. La Norme proposée ici rassemble les connaissances actuelles sur le sujet, mais ne décharge pas les auteurs d'expériences en cours sur l'homme de leur responsabilité pour la sécurité et la santé des individus impliqués.

Cette Norme a été préparé par le Comité Technique de la CIE, TC 6-47, "Norme de Sécurité Photobiologique des Lampes" et a été approuvé par les Comités nationaux de la CIE. Pour la préparation de cette norme, le TC-34 de la CEI a coopéré avec le TC 6-47 de la CIE grâce à la participation d'un certain nombre de ses membres.

NOTE La CIE est redevable à la Société Nord Américaine d'Ingénierie de la Lumière (IESNA) qui a autorisé l'utilisation d'une large partie des documents ANSI/IESNA RP-27.1 "Photobiological Safety for Lamps and Lamp Systems – General Requirements", ANSI/IESNA RP-27.2. "Photobiological Safety for Lamps and Lamp Systems – Measurement Systems - Measurement Techniques", et ANSI/IESNA RP-27.3 "Photobiological Safety for Lamps and Lamp Systems – Risk Group Classification and Labeling" qui ont formé la base de la présente norme. (chaque publication peut être obtenue auprès du département des Publications de l'IESNA, 120 Wall street, 17th floor, New York, NY 10005-4001 ou par fax +1 212 248 5017 ou par le site Web: <http://www.iesna.org>).

This publication is published as a double logo standard.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

The International Commission on Illumination (abbreviated as CIE from its French title) is an organization devoted to international cooperation and exchange of information among its member countries on all matters relating to the science and art of lighting.

Foreword of the International Commission on Illumination (CIE)

Standards produced by the Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) are a concise documentation of data defining aspects of light and lighting, for which international harmony requires such unique definition. CIE Standards are therefore a primary source of internationally accepted and agreed data, which can be taken, essentially unaltered, into universal standard systems.

The CIE undertook a major review of the official recommendations on photobiological effects, their dose relationships and measurement. Based on the guidelines given by the International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP), the CIE undertook to apply these guidelines to lamps and lamp systems. The present standard describes present day knowledge of the subject but does not absolve those carrying out experiments with humans from their responsibility for the safety and well being of the subjects involved.

This Standard has been prepared by CIE Technical Committee 6-47, "Photobiological Lamp Safety Standard", and was approved by the National Committees of the CIE. During the preparation of the standard IEC TC34 co-operated with CIE TC 6-47 through the participation of a number of their members.

NOTE CIE kindly acknowledges the consent of the Illuminating Engineering Society of North America who permitted to use extensive parts of the documents ANSI/IESNA RP-27.1. "Photobiological Safety for Lamps and Lamp Systems – General Requirements", ANSI/IESNA RP-27.2. "Photobiological Safety for Lamps and Lamp Systems – Measurement Systems - Measurement Techniques" and ANSI/IESNA RP-27.3. "Photobiological Safety for Lamps and Lamp Systems – Risk Group Classification and Labeling" as much of the basis for this standard. (Each publication may be purchased from Publications Department, IESNA, 120 Wall Street, 17th floor, New York, New York 10005-4001, by fax 212-248-5017 or through the web site: <http://www.iesna.org>).

INTRODUCTION

Les lampes ont été conçues et produites en quantités importantes et sont devenues d'utilisation courante dans l'industrie où les normes de sécurité n'étaient pas en usage. L'évaluation et le contrôle des risques liés aux radiations optiques émises par les lampes et des appareils utilisant des lampes représentent un sujet beaucoup plus complexe que les travaux similaires entrepris pour un système laser à une seule longueur d'onde. Les mesures radiométriques nécessaires sont très impliquées car elles ne relèvent pas de l'optique simple d'une source ponctuelle, mais plutôt d'une source complexe qui peut ou ne peut pas être modifiée par des diffuseurs ou des projecteurs optiques. De plus, la distribution des longueurs d'ondes d'une lampe peut être modifiée par des éléments optiques antérieurs, diffuseurs, lentilles, etc. aussi bien que par des variations de conditions de mise en œuvre.

Pour analyser une source à large spectre optique, telle qu'une lampe à arc, une lampe à incandescence, une lampe fluorescente, une batterie de lampes ou un appareil utilisant des lampes, il est nécessaire, au préalable, de déterminer la distribution spectrale des radiations optiques émises à partir de la source au(x) point(s) le(s) plus proche(s) accessible(s) à l'homme. La distribution spectrale de l'émission d'une source lumineuse, peut être différente de l'émission réelle par la lampe seule en raison d'une filtration par des éléments optiques (exemple: projection optique) placés dans le trajet de la lumière. Deuxièmement, la taille, ou la taille projetée, de la source doit être caractérisée dans la région spectrale du risque rétinien. Enfin, il peut être nécessaire de déterminer la variation de l'éclairement énergétique et de la luminance énergétique efficace en fonction de la distance. La réalisation des mesures nécessaires n'est pas habituellement une tâche facile sans instruments sophistiqués. Il a donc été décidé d'inclure les techniques de mesure de référence pour les lampes et les appareils utilisant des lampes dans cette norme. Les techniques de mesure combinées au système de classement par groupes de risques définis, fournira un document de base pour les fabricants de lampes et les usagers, afin de définir les risques photobiologiques spécifiques de chaque lampe et/ou appareil utilisant des lampes.

Enfin, pour certaines lampes et appareils utilisant des lampes, les risques liés aux radiations optiques sont bien connus. Le but de cette norme est de fournir une technique normalisée permettant d'évaluer les risques potentiels, liés aux radiations, qui peuvent être associés à différentes lampes et différents appareils utilisant des lampes.

INTRODUCTION

Lamps were developed and produced in large quantities and became commonplace in an era when industry-wide safety standards were not the norm. The evaluation and control of optical radiation hazards from lamps and lamp systems is a far more complicated subject than similar tasks for a single-wavelength laser system. The required radiometric measurements are quite involved, for they do not deal with the simple optics of a point source, but rather with an extended source that may or may not be altered by diffusers or projection optics. Also the wavelength distribution of the lamp may be altered by ancillary optical elements, diffusers, lenses, and the like, as well as variations in operating conditions.

To evaluate a broad-band optical source, such as an arc lamp, an incandescent lamp, a fluorescent lamp, an array of lamps or a lamp system, it is first necessary to determine the spectral distribution of optical radiation emitted from the source at the point or points of nearest human access. This accessible emission spectral distribution of interest for a lighting system may differ from that actually being emitted by the lamp alone due to the filtration by any optical elements (e.g., projection optics) in the light path. Secondly, the size, or projected size, of the source must be characterized in the retinal hazard spectral region. Thirdly, it may be necessary to determine the variation of irradiance and effective radiance with distance. The performance of the necessary measurements is normally not an easy task without sophisticated instruments. Thus it was decided to include reference measurement techniques for lamps and lamp systems in this standard. The measurement techniques along with the described risk group classification scheme will provide common ground for both lamp manufacturers and users to define the specific photobiological hazards of any given lamp and/or lamp system.

Finally, there are well known optical radiation hazards associated with some lamps and lamp systems. The purpose of this standard is to provide a standardized technique for evaluation of potential radiation hazards that may be associated with various lamps and lamp systems.

SÉCURITÉ PHOTOBIOLOGIQUE DES LAMPES ET DES APPAREILS UTILISANT DES LAMPES

1. DOMAINE D'APPLICATION

Cette Norme internationale fournit un guide pour l'évaluation de la sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes. Spécifiquement, elle définit les limites d'exposition, les techniques de mesures de référence et le schéma de classification pour l'évaluation et le contrôle des risques photobiologiques d'une source de radiation optique, alimentée électriquement, incohérente, à spectre large, y compris les LEDs, à l'exclusion des lasers dans un domaine de longueur d'ondes de 200 nm à 3000 nm.

2. REFERENCES NORMATIVES

Dans les normes suivantes figurent les dispositions qui, en liaison avec les références dans ce texte, constituent les clauses de la présente Norme. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient valables. Toutes les normes sont sujettes à révision et les personnes utilisant cette Norme sont invitées à examiner la possibilité de mettre en œuvre les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-dessous. Les membres de la CIE, de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI), et de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) établissent des catalogues des normes internationales en cours de validité.

CIE 17.4-1987	<i>Vocabulaire international de l'éclairage (VIE)</i> - équivalent au CEI 50(845)
CIE 53-1982	<i>Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers</i>
CIE 63-1984	<i>The spectroradiometric measurement of light sources</i>
CIE 105-1993	<i>Spectroradiometry of pulsed optical radiation sources</i>
ISO	<i>Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure</i>

3. DEFINITIONS, SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

Pour les besoins de cette norme, les définitions, symboles et abréviations suivants s'appliquent.

3.1 dose actinique (voir VIE 845-06-23)

Grandeur obtenue par pondération spectrale de la dose selon la valeur du spectre d'action actinique à la longueur d'onde correspondante.

Unité: $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$

Note: Cette définition implique que l'on a adopté un spectre d'action pour l'effet actinique considéré, et que sa valeur maximale est 1. Lorsqu'on donne une valeur quantitative, il est essentiel de spécifier s'il s'agit de la grandeur dose ou dose actinique car l'unité est la même.

3.2 étendue angulaire (α)

L'angle visuel sous-tendu par la source apparente au niveau de l'œil d'un observateur ou au point de mesure. Dans cette norme, l'angle sous-tendu est mesuré par la totalité de l'angle et non par sa moitié.

Unité: radian

Note: L'étendue angulaire α sera généralement modifiée par l'utilisation de lentilles et de miroirs utilisés comme optique de projection, c'est-à-dire l'étendue angulaire de la source apparente sera différente de l'étendue angulaire physique.

3.3 diaphragme

Ouverture qui définit la surface sur laquelle l'émission optique moyenne est mesurée. Pour les mesures d'éclairement énergétique spectral, cette ouverture est habituellement l'entrée de la petite sphère placée devant la fente d'entrée du radiomètre/spectroradiomètre.

PHOTOBIOLOGICAL SAFETY OF LAMPS AND LAMP SYSTEMS

1. SCOPE

This International Standard gives guidance for evaluating the photobiological safety of lamps and lamp systems including luminaires. Specifically it specifies the exposure limits, reference measurement technique and classification scheme for the evaluation and control of photobiological hazards from all electrically powered incoherent broadband sources of optical radiation, including LEDs but excluding lasers, in the wavelength range from 200 nm through 3000 nm.

2. NORMATIVE REFERENCES

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

CIE 17.4-1987	<i>International lighting vocabulary (ILV)</i> – Joint publication IEC/CIE
CIE 53-1982	<i>Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers</i>
CIE 63-1984	<i>The spectroradiometric measurement of light sources</i>
CIE 105-1993	<i>Spectroradiometry of pulsed optical radiation sources</i>
ISO	<i>Guide to the expression of uncertainty in measurement</i> , ISO, Geneva, 1995.

3. DEFINITIONS, SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

For the purposes of this standard, the following definitions, symbols and abbreviations apply.

3.1 actinic dose (see ILV 845-06-23)

Quantity obtained by weighting spectrally the dose according to the actinic action spectrum value at the corresponding wavelength.

Unit: $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$

Note: This definition implies that an action spectrum is adopted for the actinic effect considered, and that its maximum value is generally normalized to 1. When giving a quantitative amount, it is essential to specify which quantity dose or actinic dose is meant, as the unit is the same.

3.2 angular subtense (α)

Visual angle subtended by the apparent source at the eye of an observer or at the point of measurement. In this standard subtended angles are denoted by the full included angle, not the half angle.

Unit: radian

Note: The angular subtense α will generally be modified by incorporation of lenses and mirrors as projector optics, i.e. the angular subtense of the apparent source will differ from the angular subtense of the physical source.

3.3 aperture, aperture stop

Opening that defines the area over which average optical emission is measured. For spectral irradiance measurements this opening is usually the entrance of a small sphere placed in front of the radiometer/spectroradiometer entrance slit.

3.4 risque de la lumière bleue (RLB)

Risque de lésion rétinienne induite photochimiquement par une exposition aux radiations dont la longueur d'onde se situe entre 400 nm et 500 nm. Le mécanisme impliqué dans la lésion est plus important que le mécanisme thermique pour des durées d'exposition dépassant 10 secondes.

3.5 lampe en cycle continu (CC)

Une lampe qui fonctionne avec une émission continue pendant un temps supérieur à 0,25 secondes, c'est-à-dire une lampe non pulsée.

Note: Dans cette norme, les Lampes d'Utilisation Courante (LUC) sont définies comme étant des lampes en cycle Continu.

3.6 érythème (voir VIE 845-06-15)

Rougisement temporaire de la peau, dans cette norme, conséquence des effets actiniques de radiations solaires ou artificielles.

Note: L'intensité de l'érythème retardé est utilisée comme guide des doses utilisées en photothérapie dans l'ultraviolet.

3.7 distance d'exposition

Le point le plus proche de la personne exposée, fonction de la lampe ou de la source lumineuse. Pour les lampes émettant dans toutes les directions, la distance est mesurée à partir du centre du filament ou de l'arc. Dans les lampes équipées de réflecteurs, la distance est mesurée à partir du bord externe de la lentille ou du plan définissant les extrémités du réflecteur dans le cas d'un réflecteur sans lentille.

Unité: m

3.8 limite d'exposition (LE)

Valeur d'exposition de l'œil ou de la peau dont on n'attend pas d'effets biologiques délétères.

3.9 mouvements oculaires

L'œil normal, quand il observe un objet, se déplace légèrement par un mouvement aléatoire avec une fréquence de quelques hertz. Ce mouvement oculaire rapide entraîne un balayage d'une source ponctuelle sur une surface de la rétine équivalente à un angle apparent d'environ 0,011 radian. De plus, pour des durées supérieures à 100 secondes, la capacité de rester focalisé disparaît, entraînant un étalement supplémentaire de la puissance radiée sur la rétine, en raison des mouvements de l'œil nécessités par le travail, p. ex. dans le cas de la lecture.

3.10 champ de vision

L'angle solide (angle d'acceptance) sous lequel le détecteur tel que le radiomètre / spectroradiomètre « voit » la source, et dans lequel le détecteur reçoit les radiations.

Unité: sr

Note 1: Le champ de vision ne doit pas être confondu avec l'étendue angulaire de la source apparente α .

Note 2: Un angle plan est quelques fois utilisé pour décrire un champ se présentant sous forme d'un angle solide à symétrie circulaire.

3.11 lampe d'utilisation courante (LUC)

Terme désignant les lampes destinées à l'éclairage d'espaces qui sont classiquement occupés ou observés par les individus. Par exemple, les lampes utilisées pour l'éclairage des bureaux, des écoles, des domiciles, des usines, des routes ou des automobiles; ne sont pas comprises dans ce terme les lampes utilisées pour les projections cinématographiques, les processus de reproduction, le « bronzage », les processus industriels, les traitements médicaux ou les projecteurs de lumière.

3.4 blue light hazard (BLH)

Potential for a photochemically induced retinal injury resulting from radiation exposure at wavelengths primarily between 400 nm and 500 nm. This damage mechanism dominates over the thermal damage mechanism for times exceeding 10 seconds.

3.5 continuous wave (CW) lamp

Lamp that is operated with a continuous output for a time greater than 0,25 s, i.e., a non-pulsed lamp.

Note: In this standard, General lighting service (GLS) lamps are defined to be Continuous wave lamps.

3.6 erythema (see ILV 845-06-15)

Reddening of the skin; as used in this standard the reddening of the skin resulting from inflammatory effects from solar radiation or artificial optical radiation.

Note: The degree of delayed erythema is used as a guide to dosages applied in ultraviolet therapy.

3.7 exposure distance

Nearest point of human exposure consistent with the application of the lamp or lamp system. For lamps radiating in all directions the distance is measured from the centre of the filament or arc source. For reflector-type lamps the distance is measured from the outside edge of the lens or the plane defining the end of the reflector in a lens free reflector.

Unit: m

3.8 exposure limit (EL)

Level of exposure to the eye or skin that is not expected to result in adverse biological effects.

3.9 eye movements

The normal eye, when focused on an object, moves slightly in a random motion with a frequency of a few hertz. This rapid eye movement causes the image from a point source to be spread over an area of the retina equivalent to an angular subtense of about 0,011 radians. Furthermore, for times greater than about 100 seconds the focused stare capability breaks down causing further spreading of the radiant power over the retina due to task determined eye movements, e.g. as in reading.

3.10 field of view

Solid angle as "seen" by the detector (acceptance angle), such as the radiometer/ spectroradiometer, out of which the detector receives radiation.

Unit: sr

Note 1: The field of view should not be confused with the angular subtense of the apparent source α .

Note 2: A plane angle is sometimes used to describe a circular symmetric solid angle field of view.

3.11 general lighting service (GLS) lamps

Term for lamps intended for lighting spaces that are typically occupied or viewed by people. Examples would be lamps for lighting offices, schools, homes, factories, roadways, or automobiles. It does not include lamps for such uses as film projection, reprographic processes, "suntanning", industrial processes, medical treatment and searchlight applications.

3.12 distance du risque

Voir distance de risque pour la peau ou distance de risque pour l'œil.

3.13 éclairement lumineux (en un point d'une surface) (E_v) (voir VIE 845-01-38)

Quotient du flux lumineux $d\Phi_v$ reçu par un élément de la surface contenant le point, par l'aire dA de cet élément.

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA} \quad (3.1)$$

Unité: lx

3.14 rayonnement infrarouge (RI) (voir VIE 845-01-04)

Radiations optiques pour lesquelles les longueurs d'ondes sont plus longues que celles des radiations visibles.

Note: Pour les radiations infrarouges, les longueurs d'onde sont comprises entre 780 nm et 10^6 nm. Celles-ci sont habituellement subdivisées en RI-A (780 nm à 1400 nm), RI-B (1400 nm à 3000 nm), et RI-C (3000 nm à 10^6 nm).

Les radiations infrarouges sont généralement évaluées en terme de radiations spectrales totales par unité de surface (éclairage énergétique), incidentes sur une surface. Quelques exemples d'applications des radiations infrarouges sont le chauffage industriel, le séchage, la levée du pain, et la photoreproduction. Certaines utilisations telles que les systèmes de vision en infrarouge impliquent des détecteurs sensibles dans un certain domaine de longueur d'ondes. Dans ces cas, les caractéristiques spectrales de la source et du détecteur sont importantes.

3.15 usage habituel

Utilisation d'un produit, processus ou service en accord avec les spécifications, instructions et informations communiquées par le fournisseur.

3.16 éclairement énergétique (en un point d'une surface) (voir VIE 845-01-37)

Quotient du flux énergétique $d\Phi$ reçu par un élément de surface contenant le point, par l'aire dA de cet élément, c'est-à-dire:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (3.2)$$

Unité: $W \cdot m^{-2}$

3.17 lampe (voir VIE 845-07-03)

Source construite en vue de produire un rayonnement optique, en général visible.

Note: Le terme « lampe » est parfois utilisé pour certains types de luminaires.

Ces luminaires consistent d'une source lumineuse équipée d'atténuateur, réflecteur, globe enveloppant ou tout autre accessoire.

Comme utilisé dans cette norme, ce terme représente une source alimentée électriquement, différente d'un laser, qui produit des radiations dans la région visible du spectre électromagnétique. Ces appareils qui génèrent de la lumière et possèdent des composants intégrés pour leur contrôle optique tels que lentilles ou réflecteurs, sont également considérés comme des lampes. Ces éléments incluent des LEDs équipés de lentilles, des lampes se terminant par une lentille et différents types de réflecteurs qui se composent d'une source positionnée dans un ensemble réfléchissant parabolique ou elliptique. Celui-ci comprend normalement une protection des lentilles.

3.18 appareil utilisant des lampes

Tout produit manufacturé ou assemblage de composants qui contient ou est destiné à contenir une lampe.

3.19 source large

Taille de l'image de la source sur la rétine qui est d'une largeur telle que le flux calorique radial dans la direction du centre de l'image jusqu'au tissu biologique l'entourant, est suffisamment réduit comparé à la chaleur émise dans la direction axiale.

3.12 hazard distance

See skin hazard distance or ocular hazard distance.

3.13 illuminance (at a point of a surface) (E_v) (see ILV 845-01-38)

Quotient of the luminous flux $d\Phi_v$ incident on an element of the surface containing the point, by the area dA of that element.

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA} \quad (3.1)$$

Unit: lx

3.14 infrared radiation (IR) (see ILV 845-01-04)

Optical radiation for which the wavelengths are longer than those for visible radiation.

Note: For infrared radiation, the range between 780 nm and 10^6 nm is commonly subdivided into: IR-A (780 nm to 1400 nm), IR-B (1400 nm to 3000 nm), and IR-C (3000 nm to 10^6 nm).

Infrared radiation is often evaluated in terms of the spectral total radiation per unit area (irradiance) incident upon a surface. Examples of applications of infrared radiation are industrial heating, drying, baking, and photo-reproduction. Some applications, such as infrared viewing systems, involve detectors sensitive to a restricted range of wavelengths. In these cases, the spectral characteristics of the source and detector are of importance.

3.15 intended use

Use of a product, process or service in accordance with specifications, instructions and information provided by the supplier.

3.16 irradiance (at a point of the surface) (see ILV 845-01-37)

Quotient of the radiant flux $d\Phi$ incident on an element of a surface containing the point, by the area dA of that element, i.e.,

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (3.2)$$

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

3.17 lamp (see ILV 845-07-03)

Source made to produce optical radiation, usually visible.

Note: The term "lamp" is sometimes used for certain types of luminaires.

These types of luminaires consist of a lamp with shade, reflector, enclosing globe, housing, or other accessories.

As used in this standard, the term means an electrically powered source, other than a laser, that produces radiation in the visible region of the electromagnetic spectrum. Devices that generate light and have integral components for optical control, such as lenses or reflectors, also are considered lamps. Examples include a lensed LED, lens-end lamp, and reflector types, that consist of a source within a parabolic or elliptical reflector assembly, normally including a lens cover.

3.18 lamp system

Any manufactured product or assemblage of components that incorporates or is intended to incorporate a lamp.

3.19 large source

Size of the source image on the retina which is so large that radial heat flow in the radial direction from the center of the image to the surrounding biological tissue is negligibly small compared to heat flow in the axial direction.

3.20 laser

Source émettant des radiations optiques cohérentes produites par une émission stimulée.

3.21 lumière

Voir radiation visible.

3.22 diode électroluminescente (DEL) (voir VIE 845-04-40)

Composant électro-optique émettant des radiations optiques sans gain quand il est excité par un courant électrique.

3.23 lumen (voir VIE 845-01-51)

Unité SI de flux lumineux: le lumen est le flux lumineux émis dans l'angle solide unité (stéradian) par une source ponctuelle uniforme ayant une intensité lumineuse de 1 candela, ou, par définition équivalente, flux lumineux d'un faisceau d'une radiation monochromatique dont la fréquence est de $540 \cdot 10^{12}$ hertz, et le flux énergétique 1/683 watt.

3.24 luminaire (voir VIE 845-10-01)

Appareil servant à répartir, filtrer ou transformer la lumière d'une ou de plusieurs lampes et comprenant, à l'exclusion des lampes elles-mêmes, toutes les pièces nécessaires pour fixer et protéger les lampes et, éventuellement, les circuits auxiliaires ainsi que les dispositifs de connexion au circuit d'alimentation.

Les mots « luminaire » et « appareil utilisant des lampes » sont souvent considérés comme synonyme. Pour les besoins de cette norme, le terme « luminaire » est restreint aux appareillages utilisés pour distribuer la lumière en éclairage général, alors que « l'appareil utilisant des lampes » implique l'usage de lampes à des fins autres que les applications de l'éclairage général.

3.25 luminance (dans une direction donnée, en un point donné d'une surface réelle ou fictive) (L_v) (voir VIE 845-01-35)

Grandeur définie par la formule

$$L_v = \frac{d\Phi_v}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega} \quad (3.3)$$

où $d\Phi_v$ est le flux lumineux 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.

Unité: $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$

3.26 lux (voir VIE 845-01-52)

Unité SI d'éclairement lumineux: éclairement produit sur une surface dont l'aire est 1 m^2 par un flux lumineux de 1 lumen uniformément réparti sur cette surface.

3.27 distance de risque oculaire

Distance par rapport à une source à laquelle la luminance énergétique ou l'éclairement énergétique, pour une certaine durée d'exposition, excède les limites d'exposition applicables.

Unité: m

3.28 rayonnement optique (voir VIE 845-01-02)

Rayonnement électromagnétique dont les longueurs d'ondes sont comprises entre le domaine de transition vers les rayons X (longueur d'onde d'environ 1 nm) et le domaine de transition vers les ondes radioélectriques (longueur d'onde approximativement 10^6 nm).

Les radiations ultraviolettes dans le domaine des longueurs d'ondes en dessous de 180 nm (UV dans le vide) sont puissamment absorbées par l'oxygène de l'air. Pour les besoins de cette norme, la bande des radiations optiques est limitée aux longueurs d'ondes supérieures à 200 nm. Au delà, l'œil transmet les radiations optiques à la rétine entre 380 et 1400 nm. Par conséquent, ces longueurs d'ondes nécessitent une attention particulière pour l'évaluation de la sécurité photobiologique de la rétine.

3.20 laser

Source emitting coherent optical radiation produced by stimulated emission.

3.21 light

See visible radiation.

3.22 light emitting diode (LED) (see ILV 845-04-40)

Solid state device embodying a p-n junction emitting optical radiation without gain when excited by an electric current.

3.23 lumen (see ILV 845-01-51)

SI unit of luminous flux: Luminous flux emitted in a unit solid angle (steradian) by a uniform point source having a luminous intensity of 1 candela, or equivalently, the luminous flux of a beam of monochromatic radiation whose frequency is $540 \cdot 10^{12}$ hertz and whose radiant flux is 1/683 watt.

3.24 luminaire (see ILV 845-10-01)

Apparatus which distributes, filters or transforms the light emitted from one or more lamps and which includes, except the lamps themselves, all the parts necessary for fixing and protecting the lamps and, where necessary, circuit auxiliaries together with the means for connecting them to the electric supply.

The words "luminaire" and "lamp system" are often assumed to be synonymous. For the purposes of this standard, the word "luminaire" is restricted to apparatus used for distributing light in general lighting, while "lamp system" implies use of lamps in other than general lighting applications.

3.25 luminance (in a given direction, at a given point of a real or imaginary surface) (L_v) (see ILV 845-01-35)

Quantity defined by the formula

$$L_v = \frac{d\Phi_v}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega} \quad (3.3)$$

where $d\Phi_v$ is the luminous 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.

Unit: $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$

3.26 lux (see ILV 845-01-52)

SI unit of illuminance: Illuminance produced on a surface of area 1 square metre by a luminous flux of 1 lumen uniformly distributed over that surface.

3.27 ocular hazard distance

Distance from a source within which the radiance or irradiance for a given exposure duration exceeds the applicable exposure limit.

Unit: m

3.28 optical radiation (see ILV 845-01-02)

Electromagnetic radiation at wavelengths between the region of transition to X-rays (wavelength approximately 1 nm) and the region of transition to radio waves (wavelength approximately 10^6 nm).

Ultraviolet radiation in the wavelength range below 180 nm (vacuum UV) is strongly absorbed by the oxygen in air. For the purpose of this standard the wavelength band of optical radiation is limited to wavelengths greater than 200 nm. Further, the eye transmits optical radiation to the retina between 380 and 1400 nm. Thus this wavelength range requires special consideration in determining the photobiological safety of the retina.

3.29 photo-kérato-conjonctivite

Réponse inflammatoire de la cornée et de la conjonctive aux expositions aux radiations ultraviolettes. Les longueurs d'ondes inférieures à 320 nm sont les plus efficaces pour produire la photo-kérato-conjonctivite. Le pic du spectre d'efficacité se situe à environ 270 nm.

Note: Les spectres d'action différents ont été publiés pour les photokératites et les photoconjonctivites respectivement (CIE 106/2 et CIE 106/3-1993). Cependant, les dernières études favorisent l'usage d'un seul spectre d'action pour les deux effets oculaires (CIE 106/1-1993).

3.30 lampe pulsée

Lampe qui délivre son énergie sous forme d'une impulsion unique ou un train d'impulsions où chaque impulsion est supposée avoir une période inférieure à 0,25 seconde. Une lampe produisant une série continue d'impulsion ou un rayonnement modulé dont le pic d'énergie rayonnante est au moins égal à 10 fois l'énergie rayonnante minimum.

Note 1: La **durée** d'une lampe pulsée est l'intervalle de temps entre les points de demi-puissance sur les portions ascendantes et descendantes de la période.

Note 2: Dans cette norme, les lampes d'utilisation courante sont définies comme des lampes en cycle continu (voir 3.5). A titre d'exemples de lampes pulsées, citons les lampes de flash photographique, les lampes flash des machines à photocopier, des diodes électroluminescentes modulées et les lampes clignotantes.

3.31 luminance énergétique (dans une direction donnée, en un point donné d'une surface réelle ou fictive) (**L**) (voir VIE 845-01-34)

Grandeur définie par la formule

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega} \quad (3.4)$$

où $d\Phi$ est le flux énergétique (flux) transmis par un faisceau élémentaire passant par le point donné et se propageant dans l'angle solide $d\Omega$, comprenant la direction donnée; dA est la surface de section de ce faisceau contenant le point donné; θ est l'angle formé par la normale à cette section et la direction du faisceau.

Unité: $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$

La même définition s'applique à la luminance énergétique intégrée dans le temps, L_t , si, dans l'équation pour L , le flux énergétique $d\Phi$ est remplacé par l'énergie rayonnante dQ .

3.32 énergie rayonnante (voir VIE 845-01-27)

Intégrale par rapport au temps du flux énergétique, Φ pendant une durée, Δt .

$$Q = \int_0^t \Phi \cdot dt \quad (3.5)$$

Unité: J

3.33 exposition énergétique (en un point d'une surface, pendant une durée donnée) (voir VIE 845-01-42)

Quotient de l'énergie rayonnante, dQ , incident sur un élément de la surface contenant le point pendant une certaine durée, par l'aire de cet élément, dA .

$$H = \frac{dQ}{dA} \quad (3.6a)$$

Unité: $J \cdot m^{-2}$

Définition équivalente. L'exposition énergétique est définie comme l'intégrale, par rapport au temps, de l'éclairement énergétique, E , au point donné, pendant une durée donnée Δt .

$$H = \int_{\Delta t} E \cdot dt \quad (3.6b)$$

3.29 photokeratoconjunctivitis

Inflammatory response of the cornea and conjunctiva following exposure to ultraviolet (UV) radiation. Wavelengths shorter than 320 nm are most effective in causing this condition. The peak of the action spectrum is approximately at 270 nm.

Note: Different action spectra have been published for photokeratitis and photoconjunctivitis (CIE 106/2 and CIE 106/3–1993); however, the latest studies support the use of a single action spectrum for both ocular effects (CIE 106/1–1993).

3.30 pulsed lamp

Lamp that delivers its energy in the form of a single pulse or a train of pulses where each pulse is assumed to have a duration of less than 0,25 s. A lamp with a continuous train of pulses or modulated radiant energy where the peak radiated power is at least ten times the average radiated power.

Note 1: The **duration** of a lamp pulse is the time interval between the half-power points on the leading and the trailing edges of the pulse.

Note 2: In this standard, General lighting service lamps are defined to be Continuous wave lamps (see clause 3.5). Examples of pulsed lamps include photoflash lamps, flash lamps in photocopy machines, pulse-modulated LEDs, and strobe lights.

3.31 radiance (in a given direction at a given point of a real or imaginary surface) (L) (see ILV 845-01-34)

Quantity defined by the formula,

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega} \quad (3.4)$$

where $d\Phi$ is the radiant power (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.

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

The same definition holds for the time-integrated radiance L_t if, in the equation for L , the radiant power $d\Phi$ is replaced by the radiant energy dQ .

3.32 radiant energy (see ILV 845-01-27)

Time integral of the radiant power, Φ over a given duration, Δt .

$$Q = \int_0^t \Phi \cdot dt \quad (3.5)$$

$$\text{Unit: } \text{J}$$

3.33 radiant exposure (at a point of a surface, for a given duration) (see ILV 845-01-42)

Quotient of the radiant energy, dQ , incident on an element of the surface containing the point over the given duration, by the area dA of that element.

$$H = \frac{dQ}{dA} \quad (3.6a)$$

$$\text{Unit: } \text{J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Equivalently the radiant exposure is defined as the integral of the irradiance, E , at a given point over a given duration, Δt .

$$H = \int_{\Delta t} E \cdot dt \quad (3.6b)$$

3.34 puissance rayonnante (Φ) (voir VIE 845-01-24)

La puissance émise, transmise ou reçue sous forme de rayonnement. La puissance rayonnante est souvent appelée *flux énergétique*.

Unité: watt (W)

3.35 rétine (voir VIE 845-02-01)

Membrane située à l'intérieur du fond de l'œil, sensible aux stimuli lumineux; elle contient les photorécepteurs, cônes et bâtonnets, ainsi que les cellules nerveuses qui transmettent au nerf optique les signaux résultant de la stimulation des photorécepteurs.

3.36 brûlure rétinienne

Lésion rétinienne, photochimique ou thermique.

3.37 domaine de risque rétinien

Région spectrale comprise entre 380 nm et 1400 nm (visible et IR-A) pour laquelle les milieux oculaires normaux transmettent les radiations optiques à la rétine.

3.38 distance du risque cutané

Distance à laquelle l'éclairement énergétique excède la limite d'exposition pour 8 heures d'exposition.

Unité: m

3.39 répartition spectrale (voir VIE 845-01-17)

Quotient de la grandeur énergétique, lumineuse ou photonique, $dX(\lambda)$, contenu dans un intervalle élémentaire $d\lambda$ d'une longueur d'onde à la longueur d'onde λ , par cet intervalle.

$$X_\lambda = \frac{dX(\lambda)}{d\lambda} \tag{3.7}$$

Unité: $[X] \cdot \text{nm}^{-1}$

Note: Le terme de répartition spectrale doit être préféré quand intervient la fonction $X_\lambda(\lambda)$ sur un large intervalle de longueur d'onde, et non pas à une longueur d'onde particulière.

3.40 éclairement énergétique spectrique

Quotient du flux énergétique $d\Phi(\lambda)$ dans un intervalle de longueur d'onde $d\lambda$, tombant sur un élément de surface, par la surface dA de cet élément et par l'intervalle $d\lambda$ des longueurs d'ondes.

$$E_\lambda = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot d\lambda} \tag{3.8}$$

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

3.41 luminance énergétique spectrique; radiance spectrique (pour un intervalle de longueur d'onde $d\lambda$, dans une direction donnée en un point donné) (L_λ)

Rapport de la puissance rayonnante $d\Phi(\lambda)$ passant par ce point et se propageant dans l'angle solide $d\Omega$ contenant la direction donnée au produit de l'intervalle de longueur d'onde $d\lambda$ par l'aire de la section de ce faisceau sur un plan perpendiculaire à cette direction ($\cos \theta dA$) contenant le point donné et par l'angle solide $d\Omega$.

$$L_\lambda = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega \cdot d\lambda} \tag{3.9}$$

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

3.34 radiant power (Φ) (see ILV 845-01-24)

Power emitted, transmitted or received in the form of radiation. Radiant power is often called *radiant flux*.

Unit: watt (W)

3.35 retina (see ILV 845-02-01)

Tissue situated inside the back of the eye that is sensitive to light stimuli; it contains photoreceptors, the cones and the rods, and nerve cells that transmit to the optic nerve the signals resulting from stimulation of the photoreceptors.

3.36 retinal burn

Photochemical or thermal retinal lesion.

3.37 retinal hazard region

Spectral region from 380 nm to 1400 nm (visible plus IR-A) within which the normal ocular media transmit optical radiation to the retina.

3.38 skin hazard distance

Distance at which the irradiance exceeds the applicable exposure limit for 8 hours exposure.

Unit: m

3.39 spectral distribution (see ILV 845-01-17)

Quotient of the radiant, luminous or photon quantity $dX(\lambda)$ contained in an elementary range $d\lambda$ of wavelength at the wavelength λ , by that range.

$$X_{\lambda} = \frac{dX(\lambda)}{d\lambda} \quad (3.7)$$

Unit: $[X] \cdot \text{nm}^{-1}$

Note: The term spectral distribution is to be preferred when dealing with the function $X_{\lambda}(\lambda)$ over a wide range of wavelengths, not at a particular wavelength.

3.40 spectral irradiance

Quotient of the radiant power $d\Phi(\lambda)$ in a wavelength interval $d\lambda$, incident on an element of a surface, by the area dA of that element and by the wavelength interval $d\lambda$.

$$E_{\lambda} = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot d\lambda} \quad (3.8)$$

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

3.41 spectral radiance (for a wavelength interval $d\lambda$, in a given direction at a given point) (L_{λ})

Ratio of the radiant power $d\Phi(\lambda)$ passing through that point and propagating within the solid angle $d\Omega$ in the given direction, to the product of the wavelength interval $d\lambda$ and the area of a section of that beam on a plane perpendicular to this direction ($\cos \theta dA$) containing the given point and to the solid angle $d\Omega$.

$$L_{\lambda} = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega \cdot d\lambda} \quad (3.9)$$

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

3.42 stéradian (voir VIE 845-01-20)

Unité SI d'angle solide: angle solide qui, ayant son sommet au centre d'une sphère, délimite une aire de surface égale à celle d'un carré dont les côtés sont égaux au rayon de la sphère.

3.43 rayonnement ultraviolet (UV) (voir VIE 845-01-05)

Radiations optiques pour lesquelles les longueurs d'ondes sont plus courtes que celles des radiations visibles.

Note: Pour les radiations ultraviolettes (uv), le domaine s'étend entre 100 et 400 nm que l'on divise habituellement en: UV-A, de 315 nm à 400 nm; UV-B de 280 nm à 315 nm; et UV-C de 100 nm à 280 nm.

Il convient que ces valeurs pour les UV ne soient pas prises comme des limites précises, en particulier pour les effets photobiologiques.

Dans certains domaines de la photobiologie, les domaines de longueur d'onde sont pris de 200 nm à 290 nm, de 290 nm à 320 nm et de 320 nm à 400 nm. Parfois, ils sont (de manière incorrecte) appelées par les noms UV-A, UV-B et UV-C respectivement. Les radiations ultraviolettes de longueur d'onde inférieure à 180 nm sont considérées comme des radiations ultraviolettes dans le vide. Noter que les radiations comprises entre 380 nm et 400 nm sont considérées comme des radiations visibles bien qu'elles soient également comprises dans la définition formelle du domaine des ultraviolets.

3.44 rayonnement visible (voir VIE 845-01-03)

Toute radiation optique capable de déclencher directement une sensation visuelle.

Note: Il n'y a pas de limite précise pour le domaine spectral des radiations visibles, puisqu'elles dépendent de la quantité du flux énergétique atteignant la rétine et de la capacité de réponse de l'observateur. La limite la plus basse est généralement prise entre 360 nm et 400 nm et la limite supérieure entre 780 nm et 830 nm.

3.45 angle visuel

Angle sous-tendu par un objet ou un détail au point d'observation est considéré comme étant l'angle visuel. L'unité SI est le radian, il peut également être mesuré en milliradians, degrés ou minutes d'arc.

4. LIMITES D'EXPOSITION (LES)

4.1 Généralités

Les sujets placés au voisinage de lampes et d'appareils utilisant des lampes ne doivent pas être exposés à des niveaux excédant les limites décrites dans les sections suivantes. Les valeurs limites d'exposition (LE) sont extraites des différentes recommandations de l'ICNIRP qui, en retour, sont fondées sur les meilleures informations disponibles, à partir d'études expérimentales (voir annexe A pour la synthèse des connaissances).

Les limites d'exposition sont représentatives des conditions auxquelles on estime que pratiquement tous les individus d'une population peuvent être exposés de manière répétitive sans effets délétères sur la santé. Cependant, ces limites ne s'appliquent pas aux individus d'une photosensibilité excessive ou aux individus exposés simultanément à des agents photosensibilisants. Ces derniers individus, en général, sont plus susceptibles aux effets, délétères sur la santé, des radiations optiques que les individus sans photosensibilité excessive ou ne sont pas exposés parallèlement à des agents photosensibilisants. La susceptibilité des individus photosensibles varie énormément, et il n'est pas possible d'établir des limites d'expositions pour cette portion de la population.

Les limites d'exposition dans cette norme s'appliquent à des sources continues pour lesquelles la durée d'exposition n'est pas inférieure à 0,01 ms et n'excède pas plus d'une durée de 8 heures; il convient que ces limites soient utilisées comme guide dans le contrôle des expositions. Il est recommandé que ces valeurs ne soient pas considérées comme des limites définies précisément entre niveau de sécurité et niveau de dangerosité.

Les limites d'exposition aux radiations visibles et IR-A pour l'œil, nécessitent la connaissance de la luminance énergétique spectrale de la source, L_{λ} , et de l'éclairement énergétique total, E , tel qu'il est mesuré à la (les) position(s) de l'œil de la personne exposée. Les données spectrales détaillées d'une source de lumière sont généralement requises uniquement si la luminance de la source excède $10^4 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. A une luminance inférieure à cette valeur, on ne prévoit pas que les limites d'exposition puissent être dépassées. Les limites d'exposition sont données au paragraphe 4.3.

3.42 steradian (see ILV 845-01-20)

SI unit of solid angle. A solid angle that, having its vertex at the centre of a sphere, cuts off an area of the surface of the sphere equal to that of a square with sides of length equal to the radius of the sphere.

3.43 ultraviolet radiation (UV) (see ILV 845-01-05)

Optical radiation for which the wavelengths are shorter than those for visible radiation.

Note: For ultraviolet (UV) radiation, the range between 100 nm and 400 nm is commonly subdivided into: UV-A, from 315 nm to 400 nm; UV-B, from 280 nm to 315 nm; and UV-C, from 100 nm to 280 nm.

These designations for the UV should not be taken as precise limits, particularly for photobiological effects.

In some fields of photobiology the wavelength bands are taken from 200 nm to 290 nm, from 290 nm to 320 nm, and from 320 nm to 400 nm. Sometimes these are (incorrectly) called by the names UV-A, UV-B and UV-C, respectively. Ultraviolet radiation at wavelengths less than 180 nm is considered vacuum ultraviolet radiation. Note that radiation between 380 nm and 400 nm is considered visible radiation although it is also within the formal definition of the ultraviolet band.

3.44 visible radiation (see ILV 845-01-03)

Any optical radiation capable of directly causing a visual sensation.

Note: There are no precise limits for the spectral range of visible radiation since they depend upon the amount of radiant power reaching the retina and the responsivity of the observer. The lower limit is generally taken between 360 nm and 400 nm and the upper limit between 760 nm and 830 nm.

3.45 visual angle

Angle subtended by an object or detail at the point of observation is considered to be the visual angle. The SI unit for the angle is the radian although it may also be measured in milliradians, degrees, or minutes of arc.

4. EXPOSURE LIMITS (EL'S)**4.1 General**

Individuals in the vicinity of lamps and lamp systems shall not be exposed to levels exceeding the limits developed in the following sections. The exposure limit (EL) values are taken from various ICNIRP guidelines which, in turn, are based on the best available information from experimental studies (see Annex A for summary of publications).

The exposure limits represent conditions under which it is believed that nearly all individuals in the general population may be repeatedly exposed without adverse health effects. However, they do not apply to abnormally photosensitive individuals or to individuals concomitantly exposed to photosensitizing agents, which makes individuals much more susceptible to adverse health effects from optical radiation. Such individuals, in general, are more susceptible to adverse health effects from optical radiation than individuals who are not abnormally photosensitive or concomitantly exposed to photosensitizing agents. The susceptibility of photosensitive individuals varies greatly, and it is not possible to set exposure limits for this portion of the population.

The exposure limits in this standard apply to continuous sources where the exposure duration is not less than 0,01 ms and not more than any 8-hour period, and should be used as guides in the control of exposure. The values should not be regarded as precisely defined lines between safe and unsafe levels.

The limits for exposure to broad-band visible and IR-A radiation for the eye require knowledge of the spectral radiance of the source, L_{λ} , and total irradiance, E , as measured at the position(s) of the eye of the exposed person. Such detailed spectral data of a light source are generally required only if the luminance of the source exceeds 10^4 cd·m⁻². At a luminance less than this value, the exposure limits are expected to be not exceeded. The exposure limits are given in clause 4.3.

4.2 Facteurs spécifiques impliqués dans le calcul et l'application des limites d'exposition rétinienne

4.2.1 Diamètre de la pupille

Le flux énergétique surfacique qui pénètre dans l'œil et qui est absorbé par la rétine (longueur d'onde comprise entre 380 nm et 1400 nm) est proportionnel à la surface pupillaire. Il est admis que le diamètre pupillaire passe d'environ 7 mm de diamètre, à faible luminance ($< 0,01 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$), à environ 2 mm pour des valeurs de luminance de l'ordre de $10\,000 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Un stimulus visuel faible est défini comme un stimulus dont la luminance maximum (moyennée sur le champ de vision circulaire de 0,011 radian) est inférieure à $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Pour une luminance donnée, le diamètre pupillaire individuel varie considérablement. Par conséquent, dans l'établissement de ces limites d'exposition, deux diamètres pupillaires différents sont considérés:

- Quand la luminance de la source est élevée ($> 10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) et que la durée de l'exposition dépasse 0,25 s, par exemple tel qu'il est applicable aux risques de lumière bleue ou aux risques thermiques rétinien, un diamètre pupillaire de 3 mm (surface de 7 mm^2) a été utilisé pour obtenir les limites d'exposition.
- Quand la luminance de la source est basse, c'est-à-dire lorsque les radiations infrarouges sont présentes accompagnées d'un faible ou d'une absence de stimulus visible, les LEs sont basées sur un diamètre pupillaire de 7 mm (surface de $38,5 \text{ mm}^2$). Le diamètre de 7 mm est également retenu quand on évalue le risque photobiologique des sources pulsées et/ou pour des durées d'exposition inférieures à 0,25 s.
- Pour les situations où la source de proche infrarouge est utilisée dans des ambiances lumineuses élevées, un diamètre pupillaire de 3 mm peut être retenu et les LEs peuvent être ajustées aux valeurs les plus élevées, multipliées par le carré du rapport du diamètre pupillaire. Dans de telles conditions, les LEs peuvent être augmentées par un facteur de $(7/3)^2 = 5,5$.

4.2.2 Mesures de l'étendue angulaire de la source, dans le champ de vision

Pour les radiations dans le domaine des longueurs d'onde comprises entre 380 nm et 1400 nm, la surface de la rétine irradiée est un élément important pour déterminer les LEs pour les risques à la lumière bleue et les risques thermiques rétinien. Puisque le cristallin met au point la source apparente sur la rétine, la meilleure méthode pour décrire la surface irradiée, est de relier cette surface à l'angle apparent de la source, α . En raison des limitations physiques de l'œil, la plus petite image qui peut être formée sur la rétine est limitée à la valeur minimum α_{\min} , même pour une source ponctuelle. Dans cette norme, la valeur de α_{\min} est 0,0017 radian. Les mesures des radiations émises par des sources ponctuelles apparentes, soit pulsées, soit de sources, à longueurs d'ondes continues, à très haute énergie, présentant des LEs pour les risques de dommages thermiques rétinien ou de risques de lumière bleue pendant 0,25 s (durée du reflex de clignement), doivent utiliser un angle apparent de 0,0017 radian comme mesure de champ visuel.

Pour des durées supérieures à 0,25 s, les mouvements oculaires rapides commencent à défocaliser l'image de la source sur un angle plus important appelé α_{eff} dans cette norme. Pour des expositions de plus de 10 s, l'image étalée d'une source ponctuelle couvre une surface de rétine d'environ 0,011 radian. Par conséquent, c'est l'angle sous-tendu α_{eff} qui doit être utilisé pour mesurer la luminance énergétique, afin de comparer les LEs aux risques thermiques rétinien et à la lumière bleue pour des durées d'expositions de 10 secondes; il doit être de 0,011 radian. Pour être complet, la relation de α_{eff} entre 0,25 s et 10 s est supposée augmenter de α_{\min} jusqu'à 0,011 radian, comme la racine carrée du temps, c'est-à-dire que α_{eff} est proportionnel à $\alpha_{\min} \cdot t^{0,5}$, c'est-à-dire $\alpha_{\text{eff}} = \alpha_{\min} \cdot \sqrt{t/0,25}$. On possède peu de données pour affirmer cette relation avec le temps, et, par conséquent, il convient d'utiliser cette formule avec précaution. La relation de dépendance avec le temps n'est pas normalement nécessaire si la luminance énergétique de la source est habituellement calculée à 0,25 s ou à 10 s tel que l'on peut le déterminer en analysant les critères de risques décrits dans l'article 6.

De plus, pour le risque à la lumière bleue, pour des temps d'expositions supérieurs à 100 s, les surfaces irradiées de la rétine par une petite source seront encore étalées sur une plus grande surface en raison des mouvements oculaires déterminés par la nature du travail, à l'exception toutefois des situations dans lesquelles l'œil est stabilisé médicalement, par exemple pendant les opérations ophtalmologiques. Pour les mesures de la luminance énergétique des sources qui doivent être comparées aux limites d'exposition aux risques à la lumière bleue, l'angle apparent α_{eff} est établi à 0,011 radian pour des durées inférieures à 100 s. Pour des durées supérieures à 10000 s, α_{eff} est

4.2 Specific factors involved in the determination and application of retinal exposure limits

4.2.1 Pupil diameter

The radiant flux that enters the eye and is absorbed by the retina (380 nm to 1400 nm range) is proportional to the pupil area. It is known that the pupil diameter decreases from around 7 mm diameter at very low luminance ($< 0,01 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) to about 2 mm at luminance values on the order of $10000 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. A weak visual stimulus is defined herein as one whose maximum luminance (averaged over a circular field-of-view subtending $0,011$ radian) is less than $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. For a given luminance the individual pupil diameter varies considerably. Therefore, in the establishment of these exposure limits only two different pupil diameters were assumed, as follows:

- When the luminance of the source is adequately high ($> 10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$), and the exposure duration is greater than $0,25$ s, e.g., as applicable for the blue light hazard or retinal thermal hazard, a 3 mm pupil diameter (7 mm^2 area) was used to derive the exposure limit.
- When the luminance of the source is low, i.e., infrared radiation is present with little or no visible stimulus, the EL is based on a 7 mm ($38,5 \text{ mm}^2$ area) pupil diameter. The 7 mm diameter is also assumed when evaluating the photobiological hazard from pulsed sources and/or for exposure durations of less than $0,25$ s.
- For situations where a near infrared source is used with high ambient light levels a pupil diameter of 3 mm may be assumed and the EL limits may be adjusted to higher values by the square of the ratio of the pupil diameter. Under such conditions the EL can be increased by a factor of $(7/3)^2 = 5,5$.

4.2.2 Angular subtense of source and measurement field-of-view

For radiation in the wavelength range 380 nm to 1400 nm the area of the retina irradiated is an important element in determining the EL's for both the blue light and retinal thermal hazards. Since the cornea and lens of the eye focuses the apparent source on the retina the best method to describe the irradiated area is to relate this area to the angular subtense of the apparent source, α . Due to physical limitations of the eye the smallest image that can be formed on the retina of a still eye is limited to a minimum value, α_{\min} , even for a point source. In this standard the value for α_{\min} is $0,0017$ radian. Measurements of emitted radiation from apparent point sources, either pulsed or very high radiance continuous wave sources, that relate to the retinal thermal ELs at $0,25$ second (blink reflex time), shall use the $0,0017$ radian angular subtense as the measurement field of view.

For times greater than about $0,25$ second, rapid eye movements begin to smear the image of the source over a larger angle, called α_{eff} in this standard. For exposure times of ten seconds the smeared image of a point source covers an area of the retina equivalent to an angle of about $0,011$ radian. Thus the effective angular subtense α_{eff} to be used in measuring radiance to compare to the EL for the retinal thermal or blue light hazard at ten seconds exposure duration shall be $0,011$ radian. For continuity the dependence of α_{eff} between $0,25$ s and 10 s is assumed to increase from α_{\min} to $0,011$ radian as the square root of time, i.e., α_{eff} is proportional to $\alpha_{\min} \cdot t^{0,5}$, i.e., $\alpha_{\text{eff}} = \alpha_{\min} \cdot \sqrt{t/0,25}$. Little data is available to support this time dependence, so it should be used with caution. The time dependent relationship is normally not needed as the source radiance is usually evaluated at $0,25$ s or at 10 s, as can be determined by reviewing the risk criteria described in clause 6.

In addition, for the blue light hazard, for exposure times greater than 100 seconds, the irradiated area of the retina from a small source will be further spread over a larger area due to task determined eye movements, except for situations where the eye is fixed medically, e.g., during ophthalmological operations. For measurements of radiance from sources to be compared to the blue light hazard exposure limit, the effective angular subtense α_{eff} is set equal to $0,011$ radian for times less than 100 s. For times greater than 10000 s, α_{eff} is set to $0,1$ radian. Again, for convenience, it is assumed that α_{eff}

placé à 0,1 radian. Là encore, par convenance, on suppose que α_{eff} augmente grossièrement comme la racine carrée du temps, c'est-à-dire, pour des durées comprises entre 100 s et 10000 s, c'est-à-dire, $\alpha_{\text{eff}} = 0,011 \cdot \sqrt{(t/100)}$, (noter que la formule n'est pas exacte). La valeur maximale de l'angle sous-tendu α_{max} est de 0,1 radian pour tous les risques rétinien dans cette norme. Il faut également noter que, au delà de 10000 secondes, $\alpha_{\text{eff}} = \alpha_{\text{max}}$.

Pour des sources apparentes ayant une étendue angulaire au-delà de l'étendue angulaire maximum α_{max} , les LEs pour les risques rétinien sont indépendants de la taille de la source.

L'étendue angulaire d'une source oblongue doit être déterminée par la moyenne arithmétique des dimensions angulaires maximales et minimales de la source. Par exemple, α pour une source tubulaire de 3 mm de diamètre et de 20 mm de long, à une distance de vision $r = 200$ mm, dans une direction perpendiculaire à l'axe de la lampe, sera déterminé à partir de la dimension moyenne: Z .

$$Z = (20+3)/2 = 11,5 \text{ mm.}$$

Ainsi

$$\alpha = Z / r = 11,5/200 = 0,058 \text{ radian.}$$

Toute dimension angulaire supérieure à α_{max} doit être limitée à α_{max} et toute dimension angulaire inférieure à α_{min} doit être limitée à α_{min} , avant de déterminer la moyenne arithmétique. Ainsi, dans l'exemple ci-dessus, si la distance linéaire est supérieure à 20 mm, seules les valeurs de 20 mm pourront être utilisées dans le calcul de la taille effective de la source.

4.3 Limites du risque des expositions

4.3.1 Limite de risque lié aux expositions au rayonnement UV actinique pour la peau et l'œil

Les limites d'exposition aux radiations ultraviolettes parvenant à la peau non protégée ou à l'œil impliquent une exposition d'une durée de 8 heures consécutives. L'exposition continue, pendant des durées supérieures à 8 heures dans un même jour, n'est pas considérée. La limite d'exposition, en exposition énergétique efficace, est de $30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$.

Afin de protéger contre des lésions de l'œil ou de la peau produites par l'exposition aux radiations ultraviolettes générées par une source polychromatique, l'éclairement énergétique efficace intégré, E_s , de la source de lumière ne doit pas excéder les niveaux définis par:

$$E_s \cdot t = \sum_{200}^{400} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 30 \quad \text{J}\cdot\text{m}^{-2} \quad (4.1)$$

où:

$E_\lambda(\lambda, t)$ est l'éclairement énergétique spectral en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$,
 $S_{UV}(\lambda)$ est la fonction pondérée du risque actinique UV,
 $\Delta\lambda$ est l'intervalle des longueurs d'ondes en nm,
 t est la durée d'exposition en secondes.

La fonction d'efficacité actinique, $S_{UV}(\lambda)$, est illustrée sous forme graphique dans la figure 4.1. Etant donné que la fonction s'étend sur une grande dynamique, $S_{UV}(\lambda)$ est exprimé en valeurs logarithmiques. De plus, les valeurs spectrales de $S_{UV}(\lambda)$ sont énumérées dans le tableau 4.1.

Le temps autorisant une exposition aux radiations ultraviolettes incidentes sur la peau non protégée ou sur l'œil, peut être représenté par:

$$t_{\text{max}} = \frac{30}{E_s} \quad \text{s} \quad (4.2)$$

où:

t_{max} est le temps d'exposition autorisé en secondes,
 E_s , est l'éclairement énergétique efficace ultraviolet en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

grows roughly as the square root of time with time between 100 s and 10000 s, i.e., $\alpha_{\text{eff}} = 0,011 \cdot \sqrt{(t/100)}$, (note that the formula is not exact). The maximum value of the angular subtense, α_{max} , is 0,1 radian for all retinal hazards in this standard. Thus note that above 10000 seconds α_{eff} is equal to α_{max} .

For apparent sources subtending an angle above the maximum angular subtense, α_{max} , the EL for retinal hazards are independent of the source size.

The angular subtense of an oblong source shall be determined by the arithmetic mean of the maximum and minimum angular dimensions of the source. For example, α for a 20 mm long by 3 mm diameter tubular source at a viewing distance of $r = 200$ mm in a direction normal to the lamp axis would be determined from the mean dimension, Z .

$$Z = (20+3)/2 = 11,5 \text{ mm.}$$

Thus

$$\alpha = Z / r = 11,5/200 = 0,058 \text{ radian.}$$

Any angular dimension larger than α_{max} shall be limited to α_{max} and any angular dimension smaller than α_{min} shall be limited to α_{min} , prior to the determination of the arithmetic mean. Thus in the above example if the linear distance was larger than 20 mm, only the 20 mm value would be used in the calculation of the effective source size.

4.3 Hazard exposure limits

4.3.1 Actinic UV hazard exposure limit for the skin and eye

The limits for exposure to ultraviolet radiation incident upon the unprotected skin or eye apply to exposure within any 8-hour period. Continuous exposure for times greater than 8 hours in any day need not be considered. The exposure limit for effective radiant exposure is $30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$.

To protect against injury of the eye or skin from ultraviolet radiation exposure produced by a broadband source, the effective integrated spectral irradiance, E_s , of the light source shall not exceed the levels defined by:

$$E_s \cdot t = \sum_{200}^{400} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot S_{\text{UV}}(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 30 \quad \text{J}\cdot\text{m}^{-2} \quad (4.1)$$

where:

$E_\lambda(\lambda, t)$ is the spectral irradiance in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$,
 $S_{\text{UV}}(\lambda)$ is the actinic ultraviolet hazard weighting function,
 $\Delta \lambda$ is the bandwidth in nm,
 t is the exposure duration in seconds.

The actinic weighting function, $S_{\text{UV}}(\lambda)$, is shown in graphical form in Figure 4.1. Since the function ranges over many orders of magnitude $S_{\text{UV}}(\lambda)$ is shown logarithmically. In addition the spectral values of $S_{\text{UV}}(\lambda)$ are listed in Table 4.1.

The permissible time for exposure to ultraviolet radiation incident upon the unprotected eye or skin shall be computed by:

$$t_{\text{max}} = \frac{30}{E_s} \quad \text{s} \quad (4.2)$$

where:

t_{max} is the permissible exposure time in seconds,
 E_s is the effective ultraviolet irradiance in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Tableau 4.1 Fonction de pondération spectrale pour évaluer les risques liés aux ultraviolets pour la peau et l'œil.

Longueur d'onde ¹ λ, nm	Fonction risque UV S _{UV} (λ)	Longueur d'onde λ, nm	Fonction risque UV S _{UV} (λ)
200	0,030	313*	0,006
205	0,051	315	0,003
210	0,075	316	0,0024
215	0,095	317	0,0020
220	0,120	318	0,0016
225	0,150	319	0,0012
230	0,190	320	0,0010
235	0,240	322	0,00067
240	0,300	323	0,00054
245	0,360	325	0,00050
250	0,430	328	0,00044
254*	0,500	330	0,00041
255	0,520	333*	0,00037
260	0,650	335	0,00034
265	0,810	340	0,00028
270	1,000	345	0,00024
275	0,960	350	0,00020
280*	0,880	355	0,00016
285	0,770	360	0,00013
290	0,640	365*	0,00011
295	0,540	370	0,000093
297*	0,460	375	0,000077
300	0,300	380	0,000064
303*	0,120	385	0,000053
305	0,060	390	0,000044
308	0,026	395	0,000036
310	0,015	400	0,000030

¹ Les longueurs d'ondes choisies sont représentatives: les autres valeurs devraient être obtenues par interpolation logarithmique pour les longueurs d'ondes intermédiaires.

* Raie d'émission du spectre d'une source mercure à décharge.

4.3.2 Limite de risque lié aux expositions dans le proche-UV pour l'œil

Pour la région spectrale comprise entre 315 nm et 400 nm (UVA), l'exposition énergétique totale pour l'œil ne doit pas excéder 10 000 J·m⁻² pour des durées d'exposition inférieures à 1000 s. Pour les durées d'exposition supérieures à 1000 s (environ 16 min), l'éclairement énergétique UVA pour l'œil non protégé, E_{UVA}, ne doit pas excéder 10 W·m⁻².

Ces spécifications peuvent être exprimées ainsi:

$$E_{UVA} \cdot t = \sum_{315}^{400} \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 10000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \quad (t < 1000 \text{ s}) \quad (4.3a)$$

$$E_{UVA} \leq 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (t \geq 1000 \text{ s}) \quad (4.3b)$$

où:

E_λ(λ,t) est l'éclairement énergétique spectral en W·m⁻²·nm⁻¹,
 Δλ est l'intervalle des longueurs d'ondes en nm,
 t est la durée d'exposition en secondes.

Table 4.1 Spectral weighting function for assessing ultraviolet hazards for skin and eye.

Wavelength ¹ λ , nm	UV hazard function $S_{UV}(\lambda)$	Wavelength λ , nm	UV hazard function $S_{UV}(\lambda)$
200	0,030	313*	0,006
205	0,051	315	0,003
210	0,075	316	0,0024
215	0,095	317	0,0020
220	0,120	318	0,0016
225	0,150	319	0,0012
230	0,190	320	0,0010
235	0,240	322	0,00067
240	0,300	323	0,00054
245	0,360	325	0,00050
250	0,430	328	0,00044
254*	0,500	330	0,00041
255	0,520	333*	0,00037
260	0,650	335	0,00034
265	0,810	340	0,00028
270	1,000	345	0,00024
275	0,960	350	0,00020
280*	0,880	355	0,00016
285	0,770	360	0,00013
290	0,640	365*	0,00011
295	0,540	370	0,000093
297*	0,460	375	0,000077
300	0,300	380	0,000064
303*	0,120	385	0,000053
305	0,060	390	0,000044
308	0,026	395	0,000036
310	0,015	400	0,000030

¹ Wavelengths chosen are representative: other values should be obtained by logarithmic interpolation at intermediate wavelengths.

* Emission lines of a mercury discharge spectrum.

4.3.2 Near-UV hazard exposure limit for the eye

For the spectral region 315 nm to 400 nm (UV-A) the total radiant exposure to the eye shall not exceed 10000 J·m⁻² for exposure times less than 1000 s. For exposure times greater than 1000 s (approximately 16 minutes) the UV-A irradiance for the unprotected eye, E_{UVA} , shall not exceed 10 W·m⁻².

These specifications can be expressed as follows:

$$E_{UVA} \cdot t = \sum_{315}^{400} \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 10000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \quad (t < 1000 \text{ s}) \quad (4.3a)$$

$$E_{UVA} \leq 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (t \geq 1000 \text{ s}) \quad (4.3b)$$

where:

$E_{\lambda}(\lambda, t)$ is the spectral irradiance in W·m⁻²·nm⁻¹,
 $\Delta \lambda$ is the bandwidth in nm,
 t is the exposure duration in seconds.

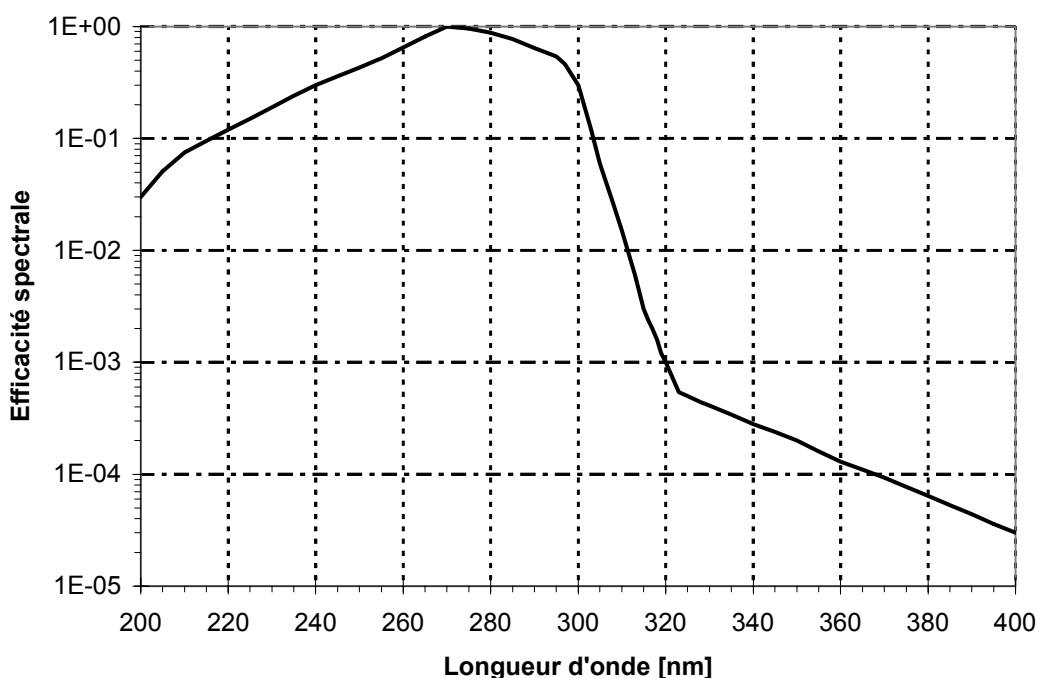


Figure 4.1 Fonction de pondération spectrale $S_{UV}(\lambda)$ pour le risque actinique UV pour la peau et l'œil.

Le temps autorisé pour l'exposition à des radiations UV incidentes sur l'œil non protégé pendant un temps inférieur à 1000 s doit être calculé ainsi:

$$t_{\max} \leq \frac{10000}{E_{UVA}} \quad \text{s} \quad (4.4)$$

Note: Pour les expositions de l'œil dans la région UVA, l'ICNIRP, en 1989, a modifié la LE pour augmenter l'exposition énergétique de $10\,000 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ depuis 1000 s jusqu'à 8 h (30 000 s).

4.3.3 Limite de risque rétinien lié aux expositions à la lumière bleue

Afin de protéger la rétine contre l'agression photochimique constituée par les expositions chroniques à la lumière bleue, la luminance énergétique spectrale intégrée de la source de lumière est pondérée par la fonction de risques à la lumière bleue, $B(\lambda)$, c'est-à-dire que la luminance énergétique de la lumière bleue pondérée, L_B , ne doit pas excéder les niveaux définis par:

$$L_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t L_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 10^6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} \quad (\text{pour } t \leq 10^4 \text{ s}) \quad (4.5a)$$

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} \quad (\text{pour } t > 10^4 \text{ s}) \quad (4.5b)$$

où:

- $L_\lambda(\lambda, t)$ est la luminance énergétique spectrale en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$,
- $B(\lambda)$ est la fonction pondérée du risque à la lumière bleue,
- $\Delta\lambda$ est la largeur de bande en nm,
- t est la durée d'exposition en secondes.

La fonction de pondération spectrale de la lumière bleue, $B(\lambda)$, est exprimée sous forme graphique sur la figure 4.2, ainsi que la fonction de pondération pour le risque thermique rétinien, $R(\lambda)$. Egalement, comme dans le cas de la figure 4.1, puisque les fonctions couvrent une grande variation, les valeurs en abscisse sont exprimées en unités logarithmiques. De plus, les valeurs spectrales de $B(\lambda)$ et de $R(\lambda)$ figurent sur le tableau 4.2.

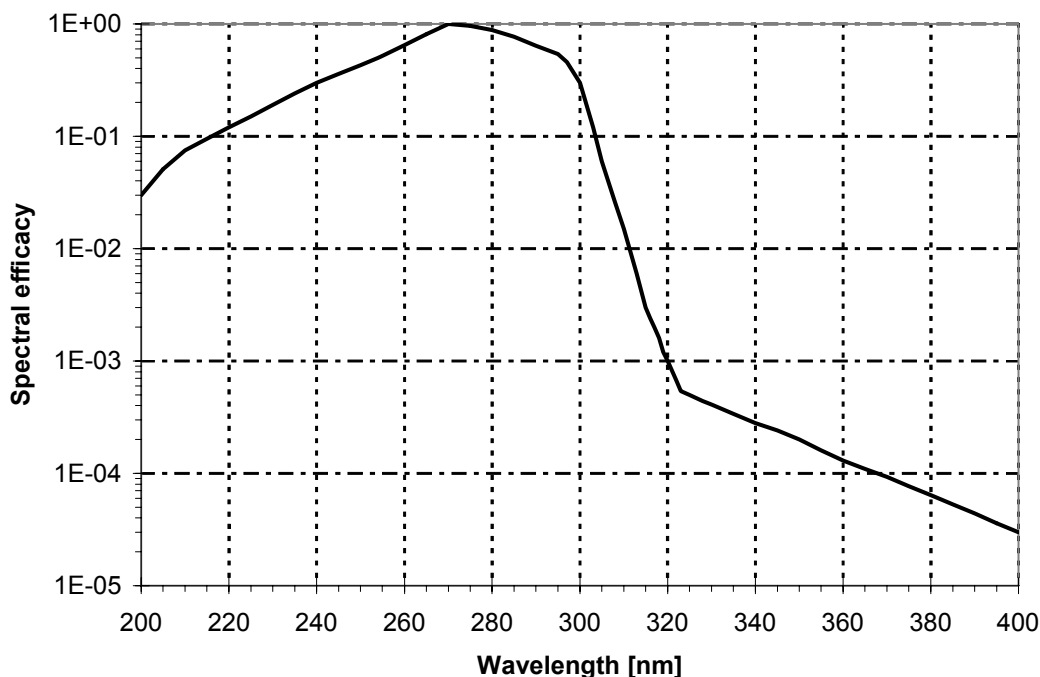


Figure 4.1 Spectral weighting function, $S_{UV}(\lambda)$, for actinic UV hazard for skin and eye.

The permissible time for exposure to ultraviolet radiation incident upon the unprotected eye for times less than 1000 s, shall be computed by:

$$t_{\max} \leq \frac{10000}{E_{UVA}} \quad \text{s} \quad (4.4)$$

Note: For eye exposure in the UV-A region ICNIRP, in 1989, changed the above EL to extend the radiant exposure of 10000 J·m⁻² from 1000 s to 10000 s (2,6 h) and to 1 W/m² for 10000 s ≤ t ≤ 30000 s (8 h).

4.3.3 Retinal blue light hazard exposure limit

To protect against retinal photochemical injury from chronic blue-light exposure, the integrated spectral radiance of the light source weighted against the blue-light hazard function, $B(\lambda)$, i.e., the blue light weighted radiance, L_B , shall not exceed the levels defined by:

$$L_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t L_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 10^6 \quad \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad (\text{for } t \leq 10^4 \text{ s}) \quad (4.5a)$$

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100 \quad \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad (\text{for } t > 10^4 \text{ s}) \quad (4.5b)$$

where:

$L_\lambda(\lambda, t)$ is the spectral radiance in $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$,
 $B(\lambda)$ is the blue-light hazard weighting function,
 $\Delta\lambda$ is the bandwidth in nm,
 t is the exposure duration in seconds.

The blue-light spectral weighting function, $B(\lambda)$, is shown in graphical form in Figure 4.2 along with the retinal thermal weighting function, $R(\lambda)$. Again, as in Figure 4.1, since the functions range over many orders of magnitude the ordinate values are plotted logarithmically. In addition the spectral values of $B(\lambda)$ and $R(\lambda)$ are listed in Table 4.2.

Tableau 4.2 Fonction de pondération spectrale déterminant les risques rétinien liés à l'exposition à des sources optiques.

Longueur d'onde nm	Fonction du risque à la lumière bleue $B(\lambda)$	Fonction du risque de brûlure $R(\lambda)$
300	0,01	
305	0,01	
310	0,01	
315	0,01	
320	0,01	
325	0,01	
330	0,01	
335	0,01	
340	0,01	
345	0,01	
350	0,01	
355	0,01	
360	0,01	
365	0,01	
370	0,01	
375	0,01	
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,10	1,0
405	0,20	2,0
410	0,40	4,0
415	0,80	8,0
420	0,90	9,0
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1,00	10,0
440	1,00	10,0
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,90	9,0
460	0,80	8,0
465	0,70	7,0
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,40	4,0
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500-600	$10^{[(450-\lambda)/50]}$	1,0
600-700	0,001	1,0
700-1050		$10^{[(700-\lambda)/500]}$
1050-1150		0,2
1150-1200		$0,2 \cdot 10^{0,02(1150-\lambda)}$
1200-1400		0,02

Pour une luminance énergétique pondérée d'une source, L_B dépassant $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$, la durée d'exposition maximale autorisée, t_{max} , doit être ainsi formulée:

$$t_{\text{max}} = \frac{10^6}{L_B} \quad \text{s} \quad (\text{pour } t \leq 10^4 \text{ s}) \quad (4.6)$$

où:

t_{max} est la durée d'exposition autorisée maximale en secondes,
 L_B est la luminance énergétique pondérée pour le risque à la lumière bleue.

Note 1: La luminance énergétique spectrale L_λ doit être moyennée sur un cône circulaire dans le champ de vision de α_{eff} comme il est décrit dans le paragraphe 4.2.2.

Table 4.2 Spectral weighting functions for assessing retinal hazards from broadband optical sources.

Wavelength nm	Blue-light hazard function $B(\lambda)$	Burn hazard function $R(\lambda)$
300	0,01	
305	0,01	
310	0,01	
315	0,01	
320	0,01	
325	0,01	
330	0,01	
335	0,01	
340	0,01	
345	0,01	
350	0,01	
355	0,01	
360	0,01	
365	0,01	
370	0,01	
375	0,01	
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,10	1,0
405	0,20	2,0
410	0,40	4,0
415	0,80	8,0
420	0,90	9,0
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1,00	10,0
440	1,00	10,0
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,90	9,0
460	0,80	8,0
465	0,70	7,0
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,40	4,0
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500-600	$10^{[(450-\lambda)/50]}$	1,0
600-700	0,001	1,0
700-1050		$10^{[(700-\lambda)/500]}$
1050-1150		0,2
1150-1200		$0,2 \cdot 10^{0,02(1150-\lambda)}$
1200-1400		0,02

For a weighted source radiance, L_B , exceeding $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, the maximum permissible exposure duration, t_{\max} , shall be computed:

$$t_{\max} = \frac{10^6}{L_B} \quad \text{s} \quad (\text{for } t \leq 10^4 \text{ s}) \quad (4.6)$$

where:

t_{\max} is the maximum permissible exposure duration in seconds,
 L_B is the blue-light hazard weighted radiance.

Note 1: The spectral radiance L_λ shall be averaged over a right circular cone field-of-view of α_{eff} , as described in clause 4.2.2.

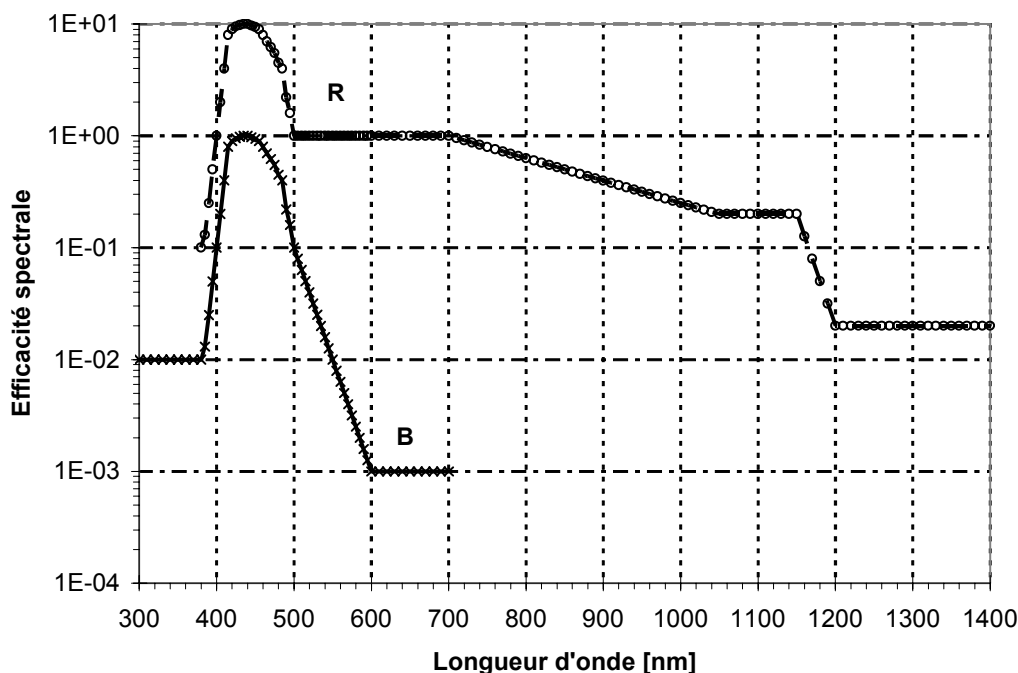


Figure 4.2 Fonctions de pondération spectrale pour les risques rétiens: $B(\lambda)$ et $R(\lambda)$.

Note 2: Dans le cas d'une source à éléments multiples non contigus, ce critère s'applique à un élément unique de la source. Il s'applique également pour une source prise dans son ensemble quand la luminance énergétique moyenne de la totalité de la source est utilisée.

4.3.4 Limite de risque rétinien lié aux expositions à la lumière bleue - source ponctuelle

Pour une source lumineuse dont l'angle sous-tendu est inférieur à 0,011 radian, les limites, énoncées au paragraphe 4.3.3, répondent à une équation plus simple basée sur l'éclairement énergétique spectral plutôt que sur la luminance énergétique spectrale. En utilisant l'équation (5.4), il peut être indiqué que la relation entre L et E , pour un angle sous-tendu de 0,011 radian, est un facteur d'environ 10^4 . Ainsi, l'éclairement énergétique de l'œil, E_λ , pondéré par la fonction du risque à la lumière bleue $B(\lambda)$ (voir tableau 4.2), ne doit excéder les niveaux définis par:

$$E_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{pour } t \leq 100 \text{ s}) \quad (4.7a)$$

$$E_B = \sum_{300}^{700} E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq 1 \quad \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{pour } t > 100 \text{ s}) \quad (4.7b)$$

où:

- $E_\lambda(\lambda, t)$ est la luminance énergétique spectrale en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$,
- $B(\lambda)$ est la fonction pondérée du risque à la lumière bleue,
- $\Delta \lambda$ est la largeur de bande en nm,
- t est la durée d'exposition en secondes.

Pour une source où l'éclairement énergétique pondéré en lumière bleue, E_B , excède $0,01 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, la durée autorisée maximale d'exposition doit être ainsi formulée:

$$t_{\max} = \frac{100}{E_B} \quad \text{s} \quad (\text{pour } t \leq 100 \text{ s}) \quad (4.8)$$

où:

- t_{\max} est la durée d'exposition autorisée maximale, en secondes,
- E_B est l'éclairement énergétique pondéré du risque à la lumière bleue.

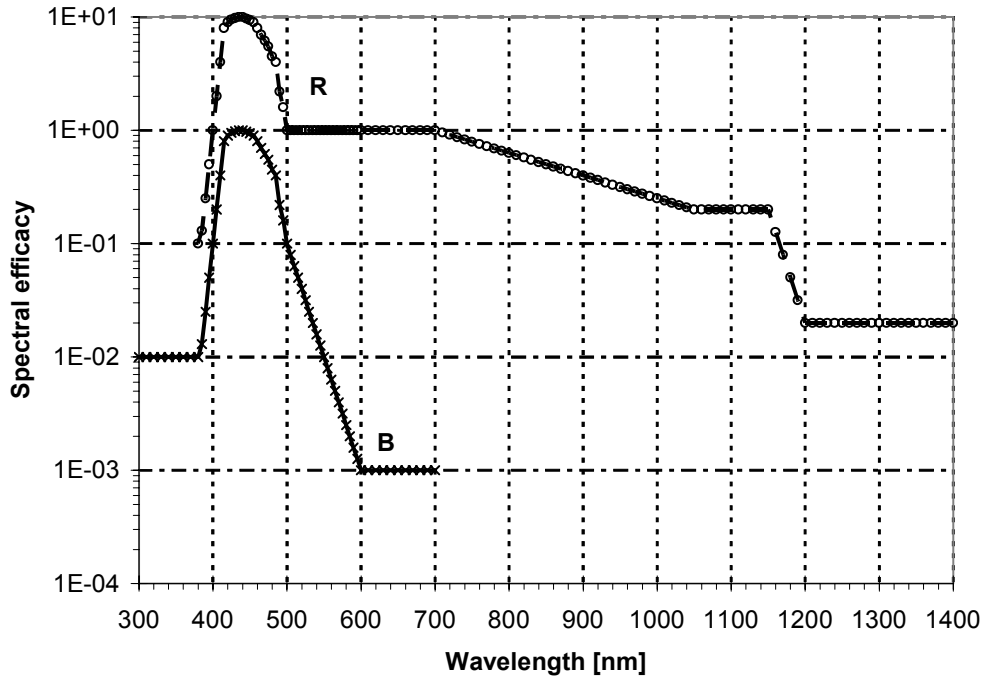


Figure 4.2 Spectral weighting functions for retinal hazards:
 $B(\lambda)$ and $R(\lambda)$.

Note 2: In the case of multiple source elements that are not contiguous, this criterion applies to a single source element. Also, it applies to the source as a whole when the average radiance over the full source is used.

4.3.4 Retinal blue light hazard exposure limit - small source

For a light source subtending an angle less than 0,011 radian the limits of clause 4.3.3 lead to a simpler equation based on the spectral irradiance rather than the spectral radiance. By application of Equation (5.4) it can be shown that the relationship between L and E , for a subtended angle of 0,011 radian is a factor of approximately 10^4 . Thus the spectral irradiance at the eye E_λ , weighted against the blue-light hazard function $B(\lambda)$ (see Table 4.2) shall not exceed the levels defined by:

$$E_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{for } t \leq 100 \text{ s}) \quad (4.7a)$$

$$E_B = \sum_{300}^{700} E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq 1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{for } t > 100 \text{ s}) \quad (4.7b)$$

where:

$E_\lambda(\lambda, t)$ is the spectral irradiance in $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$,
 $B(\lambda)$ is the blue light hazard weighting function,
 $\Delta \lambda$ is the bandwidth in nm,
 t is the exposure duration in seconds.

For a source where the blue light weighted irradiance, E_B , exceeds $0,01 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, the maximum permissible exposure duration shall be computed:

$$t_{\max} = \frac{100}{E_B} \text{ s} \quad (\text{for } t \leq 100 \text{ s}) \quad (4.8)$$

where:

t_{\max} is the maximum permissible exposure duration in seconds,
 E_B is the blue light hazard weighted irradiance.

Note 1: Noter que le temps d'exposition pour lequel E_B devient indépendant du temps est égal à 100 secondes plutôt que 10 000 secondes, données par l'équation de L_B (4.6). Cette modification est justifiée pour des temps d'exposition supérieurs à 100 secondes, car le diamètre de la surface irradiée de l'œil augmente avec la racine carrée du temps. Ainsi, l'éclairement énergétique efficace de la rétine décroît et l'exposition rétinienne énergétique reçue devient indépendante du temps pour les expositions comprises entre 100 s et 10 000 s, en raison du facteur «mouvements oculaires» au cours du travail. Ce comportement est illustré dans la représentation graphique de E_B dans la figure 5.4.

Note 2: Pour les instruments ophtalmologiques ou pour l'œil immobilisé pendant la chirurgie, alors que les mouvements de l'œil sont minimes, la durée d'exposition est augmentée jusqu'à 10 000 secondes. Ceci implique que, dans ces conditions, l'éclairement énergétique pondéré en lumière bleue doit être $\leq 10^{-2} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, c'est-à-dire 100 fois plus petit que ce qui est indiqué dans l'équation (4.7b).

4.3.5 Limite de risque thermique rétinien lié aux expositions à la lumière

Afin de protéger contre les effets délétères thermiques rétiniens, la luminance énergétique spectrale intégrée de la source lumineuse, L_λ , pondérée par la fonction pour le risque de brûlure $R(\lambda)$ (à partir de la figure 4.2 et du tableau 4.2), c'est-à-dire la luminance énergétique pondérée pour le risque de brûlure ne doit pas excéder les niveaux définis par:

$$L_R = \sum_{380}^{1400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{50000}{\alpha \cdot t^{0,25}} \quad \text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} \quad (10 \mu\text{s} \leq t \leq 10\text{s}) \quad (4.9)$$

où:

L_λ est la luminance énergétique spectrale en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$,
 $R(\lambda)$ est la fonction de pondération pour risque de brûlure,
 t est la durée d'illumination (où la durée de pulsation si la lampe est pulsée) en secondes,
 $\Delta\lambda$ est la largeur de bande en nm,
 α est l'angle sous-tendu de la source en radians.

Note 1: L_λ doit être moyenné sur le cône de champ de vision circulaire dont la limite inférieure est de 0,0017 radian, et dont la limite supérieure est de 0,1 radian.

Note 2: Dans le cadre de sources à multiples éléments non contiguës, ce critère s'applique à un élément source unique. Il s'applique également à une source dans sa globalité quand on utilise la luminance énergétique moyennée sur toute la source.

4.3.6 Limite de risque thermique rétinien lié aux expositions - stimulus visuel faible

Pour une lampe délivrant de la chaleur par infrarouges ou toute source émettant de l'infrarouge, pour lesquelles un stimulus visuel faible est incapable d'activer la réponse d'aversion, la luminance énergétique dans le proche infrarouge (780 nm à 1400 nm), L_{IR} , tel qu'il est vu par l'œil pour des durées d'exposition supérieures à 10 s doit être limité à:

$$L_{IR} = \sum_{780}^{1400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{6000}{\alpha} \quad \text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} \quad (t > 10 \text{ s}) \quad (4.10)$$

où:

L_λ est la luminance énergétique spectrique en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$,
 $R(\lambda)$ est la fonction de pondération pour le risque de brûlure,
 $\Delta\lambda$ est la largeur de bande en nm,
 t est le temps d'exposition en secondes,
 α est l'angle sous-tendu en radians.

Un stimulus visuel faible est défini ici comme correspondant à une luminance visuelle maximum (moyennée sur le champ visuel circulaire sous-tendant 0,011 radian) est inférieur à $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

Note 1: L_λ doit être moyenné sur le cône de champ de vision circulaire, dont la limite inférieure est de 0,011 radian, et dont la limite supérieure est à 0,1 radian.

Note 1: Note that the exposure time at which E_B becomes independent of time is 100 s rather than the 10000 s given for L_B in Equation (4.6). The reason for this change is that for exposure times greater than 100 s it was assumed that the diameter of the irradiated area of the retina increases as the square root of time. Hence the effective irradiance of the retina decreases and the retinal radiant exposure deposited becomes independent of time for exposure durations between 100 s and 10 000 s due to the assumption of task-oriented eye movements. This behaviour is shown in the graphical representation of E_B in Figure 5.4.

Note 2: For ophthalmic instruments or for a stabilized eye during surgery where eye movements are minimal the exposure time is extended to 10 000 s. This implies that in such cases the blue light weighted irradiance should be $\leq 10^{-2} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, i.e., 100 times smaller than that given in Equation (4.7b).

4.3.5 Retinal thermal hazard exposure limit

To protect against retinal thermal injury, the integrated spectral radiance of the light source, L_λ , weighted by the burn hazard weighting function $R(\lambda)$ (from Figure 4.2 and Table 4.2), i.e., the burn hazard weighted radiance, shall not exceed the levels defined by:

$$L_R = \sum_{380}^{1400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{50000}{\alpha \cdot t^{0,25}} \quad \text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} \quad (10 \mu\text{s} \leq t \leq 10\text{s}) \quad (4.9)$$

where:

L_λ is the spectral radiance in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$,
 $R(\lambda)$ is the burn hazard weighting function,
 t is the viewing duration (or pulse duration if the lamp is pulsed), in seconds,
 $\Delta\lambda$ is the bandwidth in nm,
 α is the angular subtense of the source in radians.

Note 1: L_λ shall be averaged over a right circular cone field-of-view of not less than 0,0017 radian, and not more than 0,1 radian, included angle.

Note 2: In the case of multiple source elements that are not contiguous, this criterion applies to a single source element. Also it applies to the source as a whole when the average radiance over the full source is used.

4.3.6 Retinal thermal hazard exposure limit – weak visual stimulus

For an infrared heat lamp or any near-infrared source where a weak visual stimulus is inadequate to activate the aversion response, the near infrared (780 nm to 1400 nm) radiance, L_{IR} , as viewed by the eye for exposure times greater than 10 s shall be limited to:

$$L_{IR} = \sum_{780}^{1400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{6000}{\alpha} \quad \text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1} \quad (t > 10 \text{ s}) \quad (4.10)$$

where:

L_λ is the spectral radiance in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$,
 $R(\lambda)$ is the burn hazard weighting function,
 $\Delta\lambda$ is the bandwidth in nm,
 t is the exposure time in seconds,
 α is the angular subtense in radians.

A weak visual stimulus is defined herein as one whose maximum luminance (averaged over a circular field-of-view subtending 0,011 radian) is less than $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

Note 1: L_λ shall be averaged over a right circular cone field-of-view of not less than 0,011 radian nor more than 0,1 radian included angle.

Note 2: La limite exprimée dans les équations 4.11a et 4.11b est fondée sur un diamètre pupillaire oculaire de 7 mm, car il est sous-entendu que la luminance visuelle de la source est faible. Pour les situations dans lesquelles la lumière ambiante est forte, le diamètre pupillaire est estimé à 3 mm, ce qui implique que le LE peut être ajusté à des valeurs plus élevées, multipliées par le carré du rapport des diamètres pupillaires (facteur de 5,5). LE peut être augmenté jusqu'à $33000/\alpha \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ (voir paragraphe 4.2.1).

4.3.7 Limite de risque lié aux expositions au rayonnement infrarouge pour l'oeil

Pour éviter les lésions thermiques de la cornée et les effets retardés potentiels sur le cristallin (cataractogénèse), les expositions oculaires aux radiations infrarouges, E_{IR} , dans le domaine compris entre 780 nm et 3000 nm, pour des temps d'exposition inférieurs à 1000 secondes, ne doivent pas excéder:

$$E_{\text{IR}} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 18000 \cdot t^{-0,75} \quad \text{W}\cdot\text{m}^{-2} \quad (t \leq 1000 \text{ s}) \quad (4.11a)$$

Pour les temps supérieurs à 1000 secondes, la limite devient:

$$E_{\text{IR}} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 100 \quad \text{W}\cdot\text{m}^{-2} \quad (t > 1000 \text{ s}) \quad (4.11b)$$

où:

E_{λ} est l'éclairement énergétique spectral en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$,
 $\Delta\lambda$ est la largeur de bande en nm,
 t est le temps d'exposition en secondes.

Note 1: Dans les environnements froids, les limites des longues expositions peuvent être augmentées jusqu'à $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ à 0°C et $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ à 10°C pour des conditions où les sources infrarouges sont utilisées comme chauffage radiant.

Note 2: La contribution de l'infrarouge IR-C est déjà incluse dans ces limites pour toutes les sources à incandescence.

4.3.8 Limite de risque thermique, lié aux expositions à la lumière, pour la peau

Les expositions énergétiques dans le visible et l'infrarouge (380 nm à 3000 nm), de la peau, doivent être limitées à:

$$E_{\text{H}} \cdot t = \sum_{380}^{3000} \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta t \cdot \Delta\lambda \leq 20000 \cdot t^{0,25} \quad \text{J}\cdot\text{m}^{-2} \quad (t \leq 10 \text{ s}) \quad (4.12)$$

où:

$E_{\lambda}(\lambda, t)$ est l'éclairement énergétique spectral en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$,
 $\Delta\lambda$ est la largeur de bande en nm,
 t est le temps d'exposition en secondes.

Note: Cette limite d'exposition est basée sur l'agression cutanée due à l'augmentation de température des tissus. Elle s'applique uniquement à une petite surface d'exposition. Les limites d'expositions pour des durées supérieures à 10 secondes ne sont pas fournies. Une douleur importante survient pour des températures inférieures à la température cutanée entraînant des lésions, et l'exposition de l'individu est normalement limitée par son confort. Une surface d'irradiation importante et une agression calorique ne sont pas évaluées puisque celles-ci impliquent la prise en compte des échanges thermiques entre l'individu et son environnement, son activité physique et d'autres facteurs variés, qui ne peuvent être appliqués à une norme de sécurité, mais ils doivent être évalués par des critères d'agression thermique liés à l'environnement.

Note 2: The limit expressed in Equations 4.11a and b is based upon a 7 mm diameter ocular pupil because it is assumed that the source luminance is weak. For situations where the ambient light can only be high, a pupil diameter of 3 mm may be assumed which implies that the EL can be adjusted to higher values by the square of the ratio of the pupil diameters (a factor of 5,5), i.e., the EL can be increased to $33000/\alpha \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ (see clause 4.2.1).

4.3.7 Infrared radiation hazard exposure limits for the eye

To avoid thermal injury of the cornea and possible delayed effects upon the lens of the eye (cataractogenesis), ocular exposure to infrared radiation, E_{IR} , over the wavelength range 780 nm to 3000 nm, for times less than 1000 s, shall not exceed:

$$E_{\text{IR}} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 18000 \cdot t^{-0,75} \quad \text{W}\cdot\text{m}^{-2} \quad (t \leq 1000 \text{ s}) \quad (4.11a)$$

For times greater than 1000 s the limit becomes:

$$E_{\text{IR}} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 100 \quad \text{W}\cdot\text{m}^{-2} \quad (t > 1000 \text{ s}) \quad (4.11b)$$

where:

E_{λ} is the spectral irradiance in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$,
 $\Delta\lambda$ is the bandwidth in nm,
 t is the exposure duration in seconds.

Note 1: In cold environments, the limits for long time exposure may be increased to $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ at 0°C and $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ at 10°C for applications where infrared sources are used for radiant heating.

Note 2: The contribution from IR-C is already incorporated in these limits for all incandescent sources.

4.3.8 Thermal hazard exposure limit for the skin

Visible and infrared radiant exposure (380 nm to 3000 nm) of the skin shall be limited to:

$$E_{\text{H}} \cdot t = \sum_{380}^{3000} \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta t \cdot \Delta\lambda \leq 20000 \cdot t^{0,25} \quad \text{J}\cdot\text{m}^{-2} \quad (t \leq 10 \text{ s}) \quad (4.12)$$

where:

$E_{\lambda}(\lambda, t)$ is the spectral irradiance in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$,
 $\Delta\lambda$ is the bandwidth in nm,
 t is the exposure time in seconds.

Note: This exposure limit is based on skin injury due to a rise in tissue temperature and applies only to small area irradiation. Exposure limits for periods greater than 10 s are not provided. Severe pain occurs below the skin temperature required for skin injury, and an individual's exposure normally will be limited for comfort. Large area irradiation and heat stress are not evaluated since this involves consideration of heat exchange between the individual and the environment, physical activity, and various other factors, which cannot be applied in a product safety standard, but must be evaluated by environmental heat-stress criteria.

5. MESURE DES LAMPES ET DES APPAREILS UTILISANT DES LAMPES

La mesure des radiations optiques, dans le but de calculer par méthodes informatiques les valeurs photobiologiques des radiations, pose un problème important à qui effectue les mesures radiométriques. Les spectres d'action photobiologiques typiques tels que $S_{UV}(\lambda)$ présentent des variations importantes des valeurs, alors que les longueurs d'ondes ne varient que dans un faible intervalle. En outre, la transmission du rayonnement des sources optiques à enveloppe de verre ont une émission qui augmente rapidement avec les longueurs d'ondes croissantes dans la région où $S_{UV}(\lambda)$ décroît rapidement. Ainsi, la question de la précision des résultats pondérés doit être considérée avec attention.

Alors que les mesures de l'éclairement énergétique sont effectuées en routine, les mesures de la luminance énergétique ne le sont pas et s'avèrent difficiles à effectuer, particulièrement pour les risques photobiologiques, car ils impliquent un champ de vision qui se modifie en fonction de l'évaluation des risques.

Pour ces raisons, on a estimé indispensable d'inclure une explication assez longue sur les conditions et les procédures nécessaires pour effectuer les mesures des émissions qui seront utilisées à des fins de définition et de classification du risque par classes de lampes et d'appareils équipés de lampes variées.

Il convient de noter que les procédures de mesure décrites dans cette norme ont été développées pour tenir compte des phénomènes biophysiques. En particulier, celles-ci peuvent impliquer un moyennage sur ouvertures sur champ de vision, ce qui serait considéré comme inapproprié pour des mesures radiométriques générales. Pourtant, des risques pourraient être surestimés si on comparait des valeurs de mesure non moyennées avec les limites d'exposition respectives.

Pour permettre une meilleure comparaison des variations des limites d'exposition, développées dans le paragraphe 4.3, y compris les effets du champ de vision, un résumé par tableaux et par graphiques est disposé à la fin de ce paragraphe. Ainsi, la figure 5.4 et le tableau 5.4 résument les valeurs maximales pour les éclairagements énergétiques basés sur les quantités d'exposition en fonction des temps d'exposition, alors que la figure 5.5 et le tableau 5.5 résument la luminance énergétique maximale (rétinienne) des valeurs d'exposition au risque, également en fonction des temps d'exposition.

Note: Le domaine des longueurs d'ondes supérieures, pour l'évaluation de tout risque, est limité à 3000 nm dans l'article 1. L'éclairement énergétique spectral ou les mesures de luminance énergétique, utilisant un monochromateur, sont souvent difficiles à effectuer dans le domaine de l'infrarouge, particulièrement entre 2500 et 3000 nm, en raison d'un manque de réponse au signal et de difficultés à obtenir des sources de référence étalonnées. Cependant, aucune fonction de pondération n'est définie pour des longueurs d'onde supérieures à 1400 nm. Ainsi, les mesures de longueurs d'onde à larges bandes comprises entre 1400 et 3000 nm sont souhaitables pour évaluer les conditions de risques infrarouges pour l'œil et la peau dans cette région.

5.1 Conditions de mesure

Les conditions de mesure doivent être mentionnées comme une partie de l'évaluation des limites d'exposition et le positionnement dans la classe de risque.

5.1.1 Vieillessement des sources (stabilisation)

Afin de maintenir une émission stable pendant la procédure de mesure et obtenir des résultats reproductibles, les lampes doivent être vieilleses pendant une durée appropriée. Pendant la période initiale de son utilisation, les caractéristiques d'émission de la lampe changeront car ses composants s'approcheront d'un équilibre. Si les mesures sont effectuées sur une lampe non vieillese, les variations, dans la période de temps mesure et entre les mesures, pourraient être significatives. Comme l'émission d'une lampe généralement décroît au cours de sa vie, il convient que la durée du vieillissement soit courte pour obtenir des évaluations sécurisées du risque.

Le vieillissement d'une lampe doit être effectué comme mentionné dans la norme des lampes CEI appropriée.

Note: Le temps de vieillissement pour les lampes à décharge, par exemple de type fluorescent ou à décharge, est classiquement de 100 heures; pour les lampes à tungstène, il est de l'ordre de 1% de la durée de vie spécifique. Cependant, ces critères de vieillissement peuvent différer selon les utilisations particulières, par exemple les lampes de solarium.

5. MEASUREMENT OF LAMPS AND LAMP SYSTEMS

The measurement of optical radiation for the purpose of computing photobiological radiation values poses significant challenges for the radiometrist. Typical photobiological action spectra such as $S_{UV}(\lambda)$ have rapidly changing values with slight change in wavelength. Furthermore, transmission of radiation from lamp sources with glass envelopes have rapidly increasing output with increasing wavelength in the region where $S_{UV}(\lambda)$ is rapidly decreasing. Hence issues of accuracy of the weighted results must be thoroughly considered.

While irradiance measurements are routinely performed, radiance measurements are not routine and often difficult to make, especially for the photobiological hazards, as they involve a field of view that changes depending on the hazard evaluation.

For these reasons it was thought necessary to include a rather lengthy discussion on the conditions and procedures needed to make emission measurements that will be used to assign risk group classification of various lamps and lamp systems.

It should be noted that the measurement procedures described in this standard are designed to account for biophysical phenomena. Specifically, they can involve averaging over apertures or field-of-views which would be considered inappropriate for general radiometric measurements. However, hazards might be overestimated if non-averaged measurement values were to be compared with the respective exposure limits.

To better provide a comparison of the various exposure limits, developed in clause 4.3, including the effects of the field-of-view, both a tabular and graphical summary are shown at the end of this clause. Thus Figure 5.4 and Table 5.4 summarizes the maximum values for each of the irradiance based hazard exposure quantities as a function of exposure time, while Figure 5.5 and Table 5.5 summarizes the maximum radiance based (retinal) hazard exposure quantities, also as a function of exposure time.

Note: The upper wavelength range for evaluation of any hazard is given as 3000 nm in clause 1. Spectral irradiance or radiance measurements using a monochromator are often difficult to make in the IR, particularly between 2500 and 3000 nm due to a lack of signal response and difficulty in obtaining calibrated sources. However, no weighting function is defined at wavelengths greater than 1400 nm. Thus broadband measurements for wavelengths between 1400 and 3000 nm are suitable in evaluating IR hazard conditions for the eye and skin in this region.

5.1 Measurement conditions

Measurement conditions shall be reported as part of the evaluation against the exposure limits and the assignment of risk classification.

5.1.1 Lamp ageing (seasoning)

To maintain stable output during the measurement process and provide reproducible results, lamps shall be seasoned for an appropriate period of time. During the initial period of operation a lamp output characteristic will change as its components come to near equilibrium. If measurements are taken of an unseasoned lamp, the variations within the measurement period and between measurements could be significant. As the output of a lamp generally decreases over life, the seasoning time should be short to result in conservative hazard evaluations.

Seasoning of lamps shall be done as stated in the appropriate IEC lamp standard.

Note: The seasoning time for discharge lamps, e.g., fluorescent or High Intensity Discharge (HID) types, is typically 100 h, for tungsten lamps it is on the order of one percent of rated lamp life. However, these seasoning criteria may differ for special applications, e.g. for solar lamps.

5.1.2 Environnement de test

La mesure précise des sources lumineuses nécessite un environnement contrôlé. La mise en oeuvre de l'équipement des sources et des mesures est conditionnée par des facteurs environnementaux. De plus, la formation d'ozone au cours de la mesure peut compromettre sa précision et peut présenter un risque sécuritaire. Pour des conditions spécifiques de test, il convient de se référer à la norme pour les lampes CEI appropriée, ou bien, en l'absence d'une telle norme, les normes nationales ou les recommandations du fabricant doivent être utilisés.

La température ambiante peut significativement influencer l'émission de certaines sources de lumière; par exemples les lampes fluorescentes. Les conditions de température ambiante dans lesquelles les mesures doivent être prises seront maintenues en accord avec la norme de la lampe CEI appropriée.

Les caractéristiques de certaines sources de lumière sont également affectées de manière significative par les courants d'air. Les mouvements de l'air à la surface des lampes de test, autres que ceux causés par les convections naturelles induites par la lampe elle-même, devraient être réduits autant que possible et en rapport avec les considérations de sécurité (production d'ozone). Quand l'appareil testé possède un système qui maintient la circulation d'air, les mesures doivent être effectuées avec circulation d'air.

5.1.3 Radiation parasite

On doit particulièrement s'assurer que des sources de radiation externes et des réflexions de lumière ne s'additionnent pas, de manière significative, aux résultats des mesures. Fréquemment, des déflecteurs sont utilisés pour réduire les radiations parasites. Noter que des surfaces considérées visuellement comme noires doivent réfléchir les radiations UV et IR. De plus, les radiations issues des déflecteurs chauds peuvent être prises en compte dans les mesures en IR en raison de la dimension de l'angle sous-tendu par les déflecteurs.

5.1.4 Mode opératoire de la source

Le mode opératoire sur la lampe-test doit être fourni selon la norme de la lampe CEI appropriée. S'il n'existe pas de norme pour ce type de lampe, il convient d'utiliser les recommandations du fabricant de la lampe en usage.

5.1.5 Mode opératoire de l'appareil utilisant des lampes

La source d'énergie pour utiliser la lampe-test doit être fournie selon la norme CEI appropriée. S'il n'existe pas de norme pour le contrôle de la puissance de la lampe, il convient de mettre en oeuvre les recommandations du fabricant de la lampe pour son utilisation.

5.2 Procédure de mesure

5.2.1 Mesures de l'éclairage énergétique

La description de la procédure s'applique aux mesures de l'éclairage énergétique des sources à bande large et aux mesures spectrales. L'instrument idéal pour mesurer l'éclairage énergétique est représenté par un détecteur plan et circulaire dont le diamètre D est suffisant pour obtenir le rapport signal-bruit désiré et, qu'à chaque point:

- l'appareil doit accepter les radiations sur un cône circulaire dont la ligne centrale est perpendiculaire au plan de la surface dudit détecteur,
- l'appareil doit présenter un angle de réponse spatial tel qu'il varie avec le cosinus de l'angle formé par la perpendiculaire à la surface du détecteur,
- l'appareil doit présenter une réponse spectrale constante dans la position pour les longueurs d'ondes spécifiées de λ_1 à λ_2 .

Dans la présente norme, le diamètre minimum à la réception doit être de 7 mm, avec un diamètre maximum d'ouverture de 50 mm. Une ouverture plane circulaire de 25 mm de diamètre est habituelle sur des petites sphères d'intégration, recommandée ci-dessus pour le faisceau incident des monochromateurs. L'ouverture, dont le diamètre est de 25 mm, est recommandée pour les sources qui émettent des radiations optiques uniformes dans l'espace. Pour les sources qui ne produisent pas un éclairage énergétique uniforme dans l'espace, par exemple les lampes avec un réflecteur à faisceau étroit, le pic d'éclairage énergétique (intensité) peut être significativement plus élevé que celui obtenu par les mesures utilisant un diaphragme de diamètre inférieur à 25 mm. Dans de tels cas, l'ouverture du détecteur devrait être limitée à un diaphragme de 7 mm de diamètre.

5.1.2 Test environment

The accurate measurement of light sources requires a controlled environment. The operation of sources and measurement equipment is impacted by environmental factors. Additionally the formation of ozone in the measurement path may compromise accuracy and may present a safety hazard. For specific test conditions, see the appropriate IEC lamp standard or in the absence of such standards, the appropriate national standards or manufacturer's recommendations.

The ambient temperature will significantly influence the output of certain light sources; e.g., fluorescent lamps. The ambient temperature in which measurements are taken shall be maintained in accordance with the appropriate IEC lamp standard.

The characteristics of some light sources are also significantly affected by draughts. Air movement over the surface of test lamps, other than that caused by natural convection due to the lamp itself, should be reduced as much as possible consistent with safety considerations (ozone production). When the system under test provides interlocks that maintain circulation, measurements shall be performed with circulation.

5.1.3 Extraneous radiation

Careful checks should be made to ensure that extraneous sources of radiation and reflections do not add significantly to the measurement results. Often baffles are used to reduce extraneous radiation. Note that visually black surfaces can be reflective to UV and IR radiation. In addition radiation from hot baffles must be considered in infrared measurements due to the large input angle subtended by baffles.

5.1.4 Lamp operation

Operation of the test lamp shall be provided in accordance with the appropriate IEC lamp standard. If no standard for the lamp type exists, the lamp manufacturer's recommendation for operation should be used.

5.1.5 Lamp system operation

The power source for operation of the test lamp shall be provided in accordance with the appropriate IEC standard. If no standard for the control gear exists, the lamp manufacturer's recommendation for operation should be used.

5.2 Measurement procedure

5.2.1 Irradiance measurements

The description given applies both to broadband and spectral irradiance measurements. An ideal instrument to measure irradiance involves a plane circular area detector of diameter D , sufficient to achieve the desired signal-to-noise ratio and, that:

- accepts radiation within a right circular cone whose centerline is normal to the plane of the detector area,
- has an angular spatial response varying as the cosine of the angle from the normal to the detector area,
- has a spectral response that is constant with position within a specified wavelength band from λ_1 to λ_2 .

In this standard the minimum input aperture diameter shall be 7 mm with a maximum input aperture diameter of 50 mm. A plane circular aperture of 25 mm diameter is common on small integrating spheres, recommended above as the input for monochromators. The 25 mm diameter aperture is recommended for sources with spatially uniform optical radiation patterns. For sources that do not produce a spatially uniform irradiance, e.g., narrow beam reflector lamps, the peak irradiance (intensity) may be significantly higher than that obtained by measurement using the under-filled 25 mm diameter aperture. In such cases the detector aperture should be limited to a 7 mm diameter aperture.

La figure 5.1 schématise les concepts principaux impliqués dans les mesures de l'éclairement énergétique ou de l'éclairement énergétique spectral, y compris, si nécessaire, l'ouverture pour limiter le champ de vision, selon le demi-angle A , à quelque distance du récepteur qui est large par rapport au diamètre du détecteur.

La mesure doit être faite dans la position où le faisceau produit le maximum d'éclairement. L'instrument doit être étalonné de façon à lire le flux énergétique incident absolu par unité de surface de réception.

Note 1: D'un point de vue pratique, la modification de l'ouverture au rayonnement incident nécessite un travail supplémentaire de réétalonnage du radiomètre ou du spectroradiomètre. Si le changement de l'éclairement énergétique avec la distance est connu, une méthode pour satisfaire au besoin d'un faible diaphragme consiste à déplacer le diaphragme du détecteur (on suppose que le diamètre de 25 mm est utilisé) en l'éloignant de la source jusqu'à une distance de mesure où le cône d'ouverture de 7 mm à une distance de 200 mm remplit alors le diaphragme de 25 mm, c'est-à-dire, à une distance d'environ 3,5 fois la distance standard d'évaluation.

Note 2: Il convient que l'éclairement énergétique mesuré ne soit pas moyenné sur une ouverture plus petite que celle qui est recommandée, car cela peut résulter en une surestimation du risque. La taille minimum de l'ouverture moyennée est liée à des facteurs physiologiques et comportementaux, ce qui a pour conséquence d'établir la moyenne des radiations incidentes sur une certaine surface.

Note 3: Pour un certain nombre de raisons, y compris la physiologie de l'œil, tous les niveaux d'exposition aux radiations UV discutées dans les paragraphes 4.3.1. et 4.3.2 s'appliquent aux sources qu'un angle inférieur à 80° (1,4 radian) sous-tend, c'est-à-dire des sources comprises dans les 40° par rapport à la perpendiculaire à la surface éclairée. Ainsi, l'émission de sources qui sous-tendent un angle plus important nécessite d'être mesurée seulement sur un angle complet de 80° .

Les mesures d'éclairement énergétique s'appliquent aux risques suivants décrits dans le paragraphe 4.3 de cette norme.

- 315 nm – 400 nm limite d'exposition oculaire, E_{UVA}
- Limite d'exposition au risque IR, E_{IR}
- Peau - limites d'exposition au risque thermique, E_H

Les mesures d'éclairement énergétique spectral s'appliquent aux risques suivants décrit dans le paragraphe 4.3 de cette norme.

- 200 – 400 nm limite d'exposition pour la peau et l'œil, E_S
- Limite des expositions pour le risque rétinien à la lumière bleue - petite source, E_B

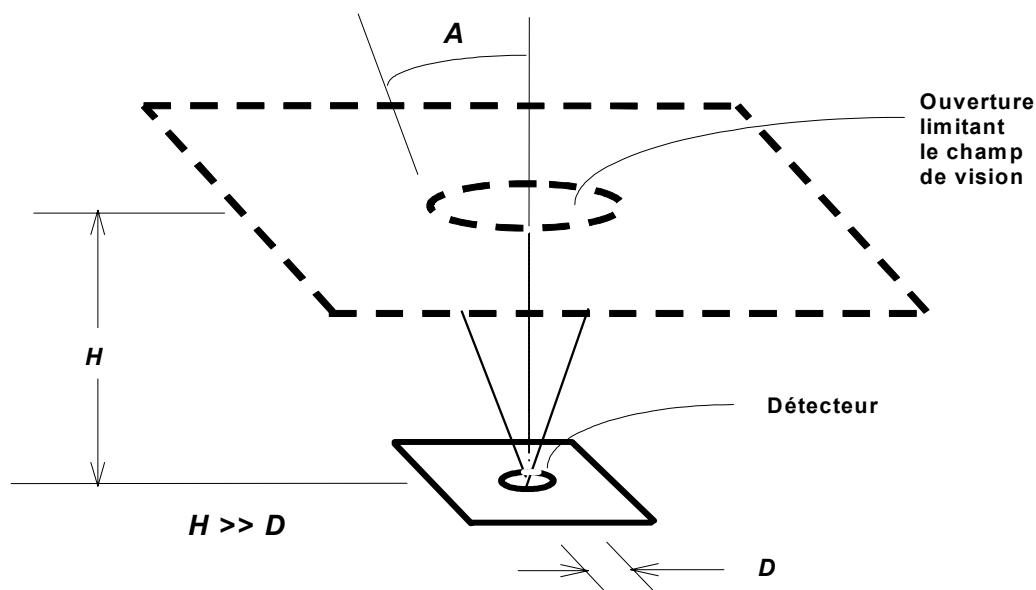


Figure 5.1 Schéma – Mesures de l'éclairement énergétique.

Figure 5.1 schematically shows the main concepts involved in making irradiance or spectral irradiance measurements, including, if needed, the aperture to limit the field of view, of half angle, A , at some distance from the receptor that is large with respect to the detector diameter.

The measurement shall be made in that position of the beam giving the maximum reading. The instrument shall be calibrated to read in absolute incident radiant power per unit receiving area.

Note 1: From a practical point changing the input aperture requires significant extra work in re-calibration of the radiometer or spectroradiometer. If the change of irradiance with distance is known, one method of achieving the lower aperture requirement is to move the detector aperture (assume 25 mm diameter is used) away from the source to a measurement distance where the 7 mm aperture cone at a distance of 200 mm now fills the 25 mm aperture, i.e., a distance about 3,5 times the standard evaluation distance.

Note 2: The measured irradiance should not be averaged over a smaller aperture than specified, as this might result in an overestimation of the hazard. The minimum size of the averaging aperture is related to physiological and behavioural factors that result in the averaging of the incident radiation over a certain surface area.

Note 3: For a number of reasons, including the physiology of the eye, all the exposure levels for ultraviolet radiation discussed in clause 4.3.1 and 4.3.2 apply to sources that subtend an angle less than 80 degrees (1,4 radian), i.e., sources within 40 degrees of the normal to the irradiance area. Thus emission from sources that subtend a greater angle need to be measured only over a full angle of 80 degrees.

Irradiance measurements apply to the following hazards described in clause 4.3 of this standard.

- 315 nm – 400 nm ocular exposure limit, E_{UVA}
- IR hazard exposure limit, E_{IR}
- Skin – thermal hazard exposure limit, E_H

Spectral irradiance measurements apply to the following hazards also described in clause 4.3 of this standard.

- 200 – 400 nm skin and ocular exposure limit, E_S
- Retinal blue light hazard exposure limit – small source, E_B

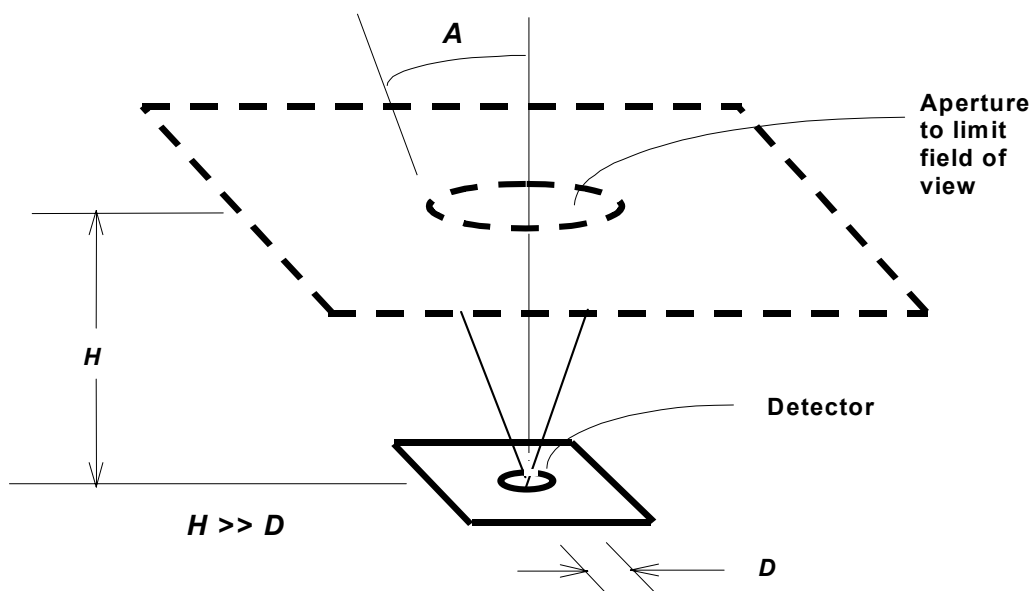


Figure 5.1 Schematic - Irradiance measurements.

5.2.2 Mesures de la luminance énergétique

5.2.2.1 Méthode standard

La description fournie s'applique aux mesures de l'intensité énergétique spectrale sur une grande largeur du spectre. Les mesures de luminance énergétique sont effectuées avec un système optique qui (voir figure 5.2):

- projette la source d'énergie rayonnante sur le détecteur,
- possède un diaphragme de champ circulaire afin d'établir l'angle recommandé pour couvrir le champ visuel moyen α_{eff} ,
- possède une pupille d'entrée circulaire (diaphragme) qui agit comme une ouverture moyenne dans les mesures d'éclairement énergétique et qui remplit les mêmes conditions qui sont décrites dans le paragraphe 5.2.1. Pour les petits angles, la relation entre diamètre du détecteur et distance focale du système d'image doit être défini par $d = \alpha_{\text{eff}} \cdot H$.

Comme pour les mesures d'éclairement énergétique, le diamètre minimum D du diaphragme, comme indiqué dans la figure 5.2, correspond à un diamètre de la pupille de 7 mm pour des sources pulsées, et il est une ouverture moyennée biophysicalement reconnue pour des sources CC, où la pupille pourrait être plus petite, mais des mouvements de l'œil et de la tête donnent cette ouverture moyennée. Comme pour les mesures d'éclairement énergétique, le diaphragme peut excéder 7 mm, si le profil d'éclairement énergétique incident est suffisamment uniforme.

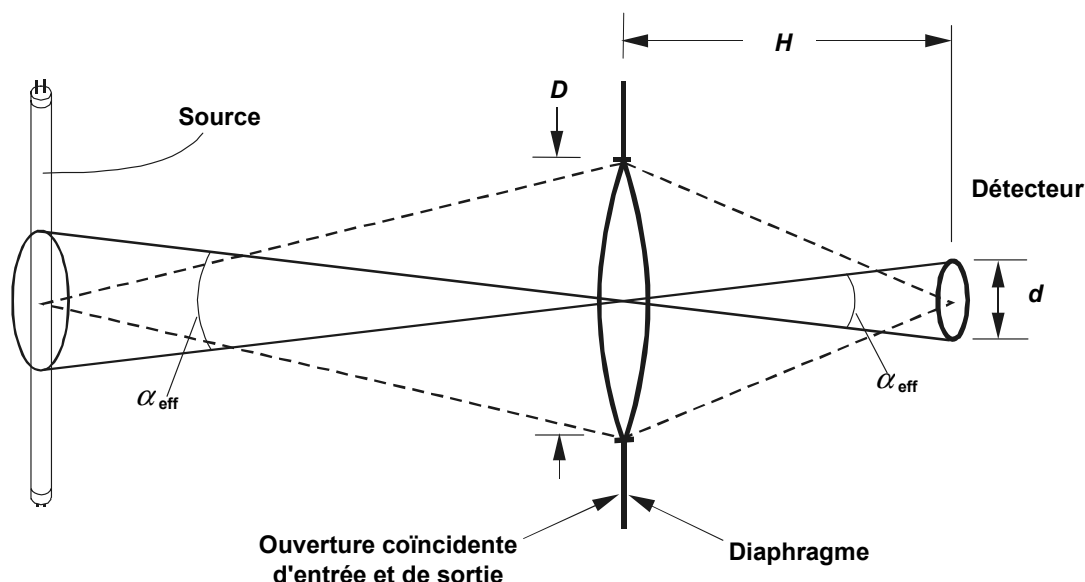


Figure 5.2 Exemple d'un système d'image pour la mesure de la luminance. énergétique.

L'instrument doit être étalonné afin de lire le flux énergétique absolu incident par unité de surface et par unité d'angle solide (FOV) moyenné sur le champ de vision de l'instrument.

Note: Il convient que la luminance énergétique mesurée ne soit pas moyennée sur un champ de vision inférieur à celui qui est spécifié, car il pourrait en résulter une surestimation du risque. La taille du champ de vision moyenné est liée au mouvement de l'œil qui distribue le flux énergétique de l'image de la source sur une large surface de la rétine. La taille du champ de vision moyenné, α_{eff} est indépendante de la taille de la source α . Pour les sources qui ont un angle α plus petit que le champ de vision α_{eff} , la luminance énergétique moyenne sera plus petite que la luminance énergétique réelle physique de la source; cependant, cette valeur efficace biologique est la valeur correcte destinée à être comparée avec les limites d'exposition.

5.2.2 Radiance measurements

5.2.2.1 Standard method

The description given applies both to broadband and spectral radiance measurements. Radiance measurements are performed with an optical system that (see Figure 5.2):

- images the radiant source onto a detector,
- has a circular field stop to establish the specified angular extent of the averaging field of view α_{eff} ,
- has a circular entrance pupil (aperture stop) which acts as an averaging aperture in the sense of irradiance measurements and fulfils the same requirements as stated in clause 5.2.1. For small angles the relationship between the detector diameter and the focal distance of the imaging device is seen to be $d = \alpha_{\text{eff}} H$.

As with irradiance measurements, the minimum aperture stop diameter D , as shown in Figure 5.2, corresponds to a 7 mm pupil diameter for pulsed sources and is a biophysically recognised averaging aperture for cw sources where the pupil could be smaller but eye and head movements allow for this aperture averaging. As with irradiance measurements, the aperture stop can exceed 7 mm if the incident irradiance profile is sufficiently uniform.

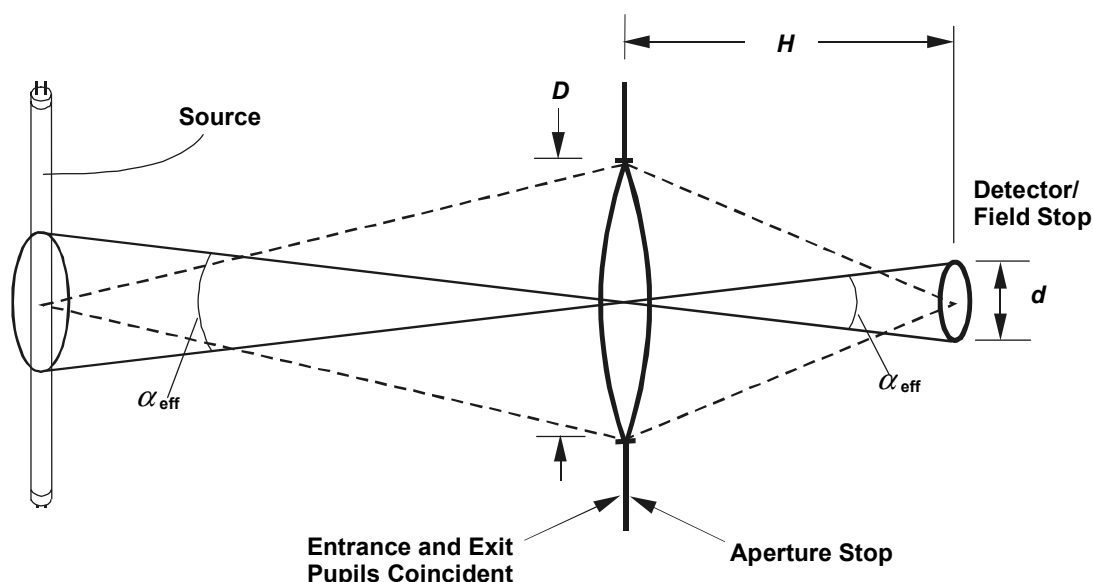


Figure 5.2 Example of an imaging device for radiance measurements.

The instrument shall be calibrated to read in absolute incident radiant power per unit receiving area and per unit solid angle of acceptance averaged over the field of view (FOV) of the instrument.

Note: The measured radiance should not be averaged over a smaller field of view than specified, as this might result in an overestimation of the hazard. The size of the averaging field of view is related to the extent of eye movements that distribute the radiant power of the source image over a larger area on the retina. The size of the averaging field of view α_{eff} is independent of the source size α . For sources that subtend an angle α smaller than the specified field of view α_{eff} , the averaged radiance value will be smaller than the actual physical radiance of the source; however this biologically effective value is the appropriate value to be compared to the exposure limit.

Les mesures de luminance énergétique spectrale s'appliquent aux risques suivants tels qu'ils sont décrits dans le paragraphe 4.3 de cette norme.

- Limite d'exposition au risque rétinien de la lumière bleue, L_B
- Limite d'exposition au risque rétinien thermique, L_R
- Limite d'exposition au risque rétinien - en condition de stimulus visuel faible, L_{IR} .

5.2.2.2 Méthode alternative

Les mesures de luminance énergétique peuvent être conceptualisées comme les mesures d'éclairement énergétique effectuées dans un champ de vision bien défini, où la valeur de l'éclairement énergétique mesuré est divisée par la mesure du champ visuel afin d'obtenir la valeur de la luminance énergétique. En remplacement du dispositif (ci-dessus) pour la réalisation de la mesure de la luminance énergétique, un dispositif pour la mesure de l'éclairement énergétique avec un diaphragme circulaire placé près de la source peut être utilisé afin d'effectuer les mesures de luminance énergétique (Figure 5.3). La taille du diaphragme de champ, F , et la distance du diaphragme au diaphragme de champ, r , définit le champ de vision, c'est-à-dire:

$$\gamma = F/r \tag{5.1}$$

Ce dispositif implique que le diaphragme de champ soit placé suffisamment près de la source apparente afin de produire le champ de vision nécessaire.

La relation entre l'éclairement énergétique mesuré, E , et la luminance énergétique de la source, L , pour la détection perpendiculaire à la surface de la source ($\theta = 0$ dans la définition 3.31), pour de petits angles, est donnée par l'équation:

$$E = L \cdot \Omega, \tag{5.2}$$

où Ω , angle en stéradian, est la mesure du champ de vision, c'est-à-dire l'angle solide sous-tendu par l'angle plan, γ , angle en radian, tel qu'illustré dans la Figure 5.3. De plus, pour les sources circulaires de faible taille, la relation entre l'angle plan γ et l'angle solide Ω est:

$$\Omega = \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} \tag{5.3}$$

Ainsi, utilisant les dimensions montrées dans la Figure 5.3, l'éclairement énergétique, en terme de luminance énergétique de la source, est donné par:

$$E = L \cdot \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} = L \cdot \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2} \tag{5.4}$$

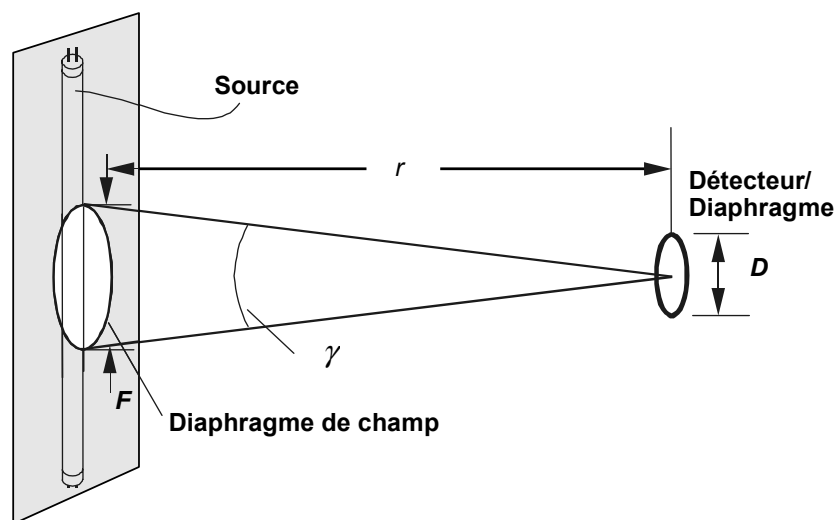


Figure 5.3 Technique alternative pour mesurer la luminance énergétique.

Spectral radiance measurements apply to the following hazards also described in clause 4.3 of this standard.

- Retinal blue light hazard exposure limit, L_B
- Retinal thermal exposure limit, L_R
- Retinal thermal exposure limit – weak visual stimulus, L_{IR} .

5.2.2.2 Alternative method

Radiance measurements can be conceptualised as an irradiance measurement performed with a well-defined field of view where the measured irradiance value is divided by the measurement field of view to obtain the radiance value. Alternatively to an imaging radiance set-up (above), an irradiance measurement set-up with a circular field stop placed at the source can be used to perform radiance measurements (Figure 5.3). The size of the field stop, F , and the distance of the field stop to the aperture stop, r , define the field of view, i.e.:

$$\gamma = F/r \quad (5.1)$$

This set-up implies that the field stop can be placed sufficiently close to the apparent source to produce the required field of view.

The relationship between the measured irradiance, E , and the source radiance, L , for detection normal to the source area, ($\theta = 0$ in definition 3.31), for small angles, is given as:

$$E = L \cdot \Omega, \quad (5.2)$$

where Ω , angle in sr, is the measurement field of view, i.e., the solid angle subtended by the planar angle, γ , angle in radian, shown in Figure 5.3. Furthermore, for small angles the relationship between the plane angle γ and the solid angle Ω is:

$$\Omega = \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} \quad (5.3)$$

Thus using the dimensions shown in Figure 5.3, the irradiance in terms of the source radiance is given by:

$$E = L \cdot \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} = L \cdot \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2} \quad (5.4)$$

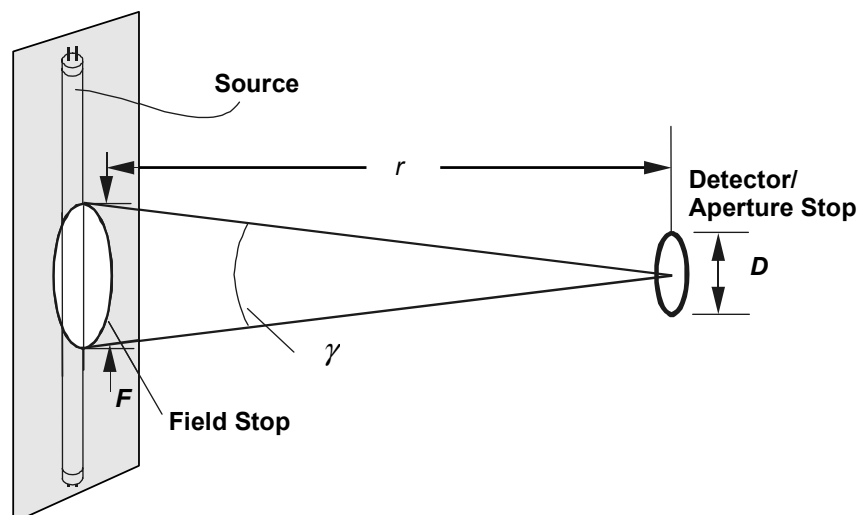


Figure 5.3 Alternative radiance technique.

Quand on utilise les mesures de l'éclairement énergétique pour obtenir les valeurs de luminance énergétique afin de comparer vis-à-vis d'un risque donné, le diamètre du diaphragme de champ, F , doit être calculé pour que:

$$\gamma = \alpha_{\text{eff}} \quad (5.5)$$

Note: La limite du risque à la lumière bleue pour l'éclairement énergétique d'une petite source est équivalente à la limite de la luminance énergétique pour le champ de vision moyen spécifique. La limite de l'éclairement énergétique est dérivée en multipliant la limite de la luminance énergétique par la mesure du champ de vision moyennée, en utilisant l'équation (5.4).

5.2.3 Mesure de la taille de la source

La détermination de α , l'angle sous-tendu par une source, nécessite la détermination des valeurs d'émission 50% de la source. Les méthodes habituelles, utilisant la photographie ou les appareils photographiques CCD, ne devraient être utilisées qu'après vérification afin que l'homogénéité spectrale soit suffisante pour garantir l'usage de radiations visibles en tant que représentatives des radiations infrarouges. Des modifications du spectre selon le point de la source peuvent entraîner des tailles différentes dans différentes régions du spectre. (voir *Sliney & Wolbarsht*, 1980, paragraphe 12.6.6).

5.2.4 Mesure de la largeur des pulsations pour les sources pulsées

La détermination de Δt , la durée nominale de pulsation d'une source, nécessite la détermination du temps pendant lequel l'émission est supérieure à 50% de sa valeur de crête. Les méthodes habituelles, par exemple en utilisant une cellule photoélectrique couplée à un oscilloscope, devraient être appliquées seulement après vérification afin que l'uniformité spectrale soit suffisante pour garantir que l'utilisation des radiations visibles peut être validée pour les radiations UV et IR. Des changements de spectre pendant la pulsation peuvent entraîner des largeurs différentes de pulsations dans différentes régions du spectre.

5.3 Méthodes d'analyses

5.3.1 Interpolations pour la courbe de pondération

Les courbes de pondération définies au tableau 4.1 ne sont généralement pas suffisamment précises pour effectuer les calculs de pondération pour les émissions d'une source. Ces fonctions sont raisonnablement linéaires, en n'importe quelle région de mesure, et sont exprimées en coordonnées semi-logarithmique. Par conséquent, pour standardiser les valeurs interpolées, il convient d'utiliser une interpolation linéaire sur les logarithmes d'une valeur précise, afin d'obtenir des points intermédiaires, à toutes les longueurs d'ondes choisies, par exemple 1 nm d'intervalle est recommandé. L'antilogarithme des valeurs interpolées permet d'obtenir les valeurs nécessitées pour les facteurs de pondération interpolés.

5.3.2 Calculs

Le calcul des valeurs du risque d'une source doit être effectué en pondérant tout le spectre balayé par la fonction appropriée et en calculant l'énergie totale pondérée. Afin de fournir une méthode reproductible, la présente norme suggère une interpolation ou l'addition à un nanomètre (1 nm), pour les spectres de longueurs d'ondes inférieures à 400 nm. C'est alors que les fonctions de pondération et les totalisations sont effectuées à 1 nm de résolution. Au-dessus de 400 nm, le pas des espaces entre les longueurs d'ondes est recommandé comme étant égal à 5 nm.

5.3.3 Détermination de l'incertitude sur la mesure

La qualité de tous les résultats des mesures peut être quantifiée par une analyse des incertitudes. Tous les résultats calculés doivent être analysés en parallèle avec des valeurs d'incertitude qui se conforment aux recommandations des références normatives. L'incertitude de chaque résultat sera consignée comme l'étendue de l'incertitude combinée, qui est calculée à partir de l'incertitude type, u_c , en utilisant un facteur de sécurité, $k = 2$, tel qu'il est défini dans le guide ISO dans l'article 2. Les valeurs d'incertitude devraient être appliquées à partir des incertitudes d'étalonnage, pour tous les calculs, et s'appliquent à toutes les sources telles que décrites en annexe C.

When using the irradiance measurements to obtain radiance values to compare against a given hazard, the field stop diameter, F , must be set such that

$$\gamma = \alpha_{\text{eff}} \quad (5.5)$$

Note: The blue light hazard small-source-irradiance limit is equivalent to the radiance limit for the specified measurement averaging field of view. The irradiance limit is derived by multiplying the radiance limit with the averaging measurement field of view using Equation (5.4).

5.2.3 Measurement of source size

The determination of α , the angle subtended by a source, requires the determination of the 50% emission points of the source. Common methods using photography or solid state cameras should be used only after verifying that the spectral uniformity is sufficient to warrant the use of visible radiation as an analog for the IR radiation. Changes in spectra across a source can lead to different sizes in different regions of the spectra. (See *Slaney and Wolbarsht*, 1980, clause 12.6.6.)

5.2.4 Pulse width measurement for pulsed sources

The determination of Δt , the nominal pulse duration of a source, requires the determination of the time during which the emission is > 50% of its peak value. Common methods, e.g., using a photodiode with an oscilloscope, should be applied only after verifying that the spectral uniformity is sufficient to warrant the use of visible radiation as an analog for the UV or IR radiation. Changes in spectra during a pulse can lead to different pulse widths in different regions of the spectra.

5.3 Analysis methods

5.3.1 Weighting curve interpolations

The weighting curves defined in Table 4.1 are normally not sufficiently resolved to perform the weighted source emission calculations. The functions are reasonably linear in any local region on semi-log coordinates. Therefore to standardize interpolated values, use linear interpolation on the log of given values to obtain intermediate points at the wavelength intervals desired, e.g., one nanometer interval recommended. Anti-logarithm of the interpolated numbers result in the values needed for the interpolated weighting factors.

5.3.2 Calculations

The calculation of source hazard values shall be performed by weighting the spectral scan by the appropriate function and calculating the total weighted energy. To provide a repeatable method this standard suggests interpolation or summing to one nanometer (1 nm) for the spectra below 400 nm. Weighting and summations are then performed at this 1 nm resolution. Above 400 nm, a step size of 5 nm is recommended.

5.3.3 Measurement uncertainty

The quality of all measurement results must be quantified by an analysis of the uncertainty. All calculated results must be paired with uncertainty values that conform to the guidance in the normative references. The uncertainty of each result will be reported as the expanded uncertainty, which is calculated from the combined standard uncertainty, u_c , by use of a coverage factor, $k=2$, as defined in the ISO guide listed in Clause 2. The values of uncertainty should be propagated from the calibration uncertainties, through the calculations and include all sources as described in Annex C.

Tableau 5.4 Résumé des limites d'exposition pour la surface de la peau ou de la cornée
(valeur basée sur l'éclairement énergétique)

Identification du risque	Equation spécifique	Extension des longueurs d'ondes nm	Durée des expositions secondes	Ouverture radian (degré)	LE en éclairement énergétique constant $W\ m^{-2}$
UV actinique peau et œil	$E_s = \sum E_\lambda \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	200 – 400	< 30000	1,4 (80)	$30 / t$
UV-A œil	$E_{UVA} = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	315 – 400	≤ 1000 > 1000	1,4 (80)	$10000 / t$ 10
Lumière bleue - petite source	$E_B = \sum E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300 – 700	≤ 100 > 100	< 0,011	$100 / t$ 1,0
IR œil	$E_{IR} = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	780 – 3000	≤ 1000 > 1000	1,4 (80)	$18000 / t^{0,75}$ 100
Thermique cutanée	$E_H = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	380 – 3000	< 10	$2\pi\ sr$	$20000 / t^{0,75}$

Tableau 5.5 Résumé des limites d'exposition pour la rétine
(valeurs basées sur l'éclairement énergétique)

Identification du risque	Equation spécifique	Extension des longueurs d'ondes nm	Durée des expositions secondes	Champ de vision radians	LE en luminance énergétique constant $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Lumière bleue	$L_B = \sum L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300 – 700	0,25 – 10 10-100 100-10000 ≥ 10000	$0,011 \cdot \sqrt{(t/10)}$ 0,011 $0,0011 \cdot \sqrt{t}$ 0,1	$10^6 / t$ $10^6 / t$ $10^6 / t$ 100
Thermique rétinien	$L_R = \sum L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	380 – 1400	< 0,25 0,25 – 10	0,0017 $0,011 \cdot \sqrt{(t/10)}$	$50000 / (\alpha \cdot t^{0,25})$ $50000 / (\alpha \cdot t^{0,25})$
Thermique rétinien (stimulus visuel faible)	$L_{IR} = \sum L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	780 – 1400	> 10	0,011	$6000 / \alpha$

Table 5.4 Summary of the ELs for the surface of the skin or cornea (irradiance based values)

Hazard Name	Relevant equation	Wavelength range nm	Exposure duration sec	Limiting aperture rad (deg)	EL in terms of constant irradiance $W \cdot m^{-2}$
Actinic UV skin & eye	$E_s = \sum E_\lambda \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	200 – 400	< 30000	1,4 (80)	30/t
Eye UV-A	$E_{UVA} = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	315 – 400	≤ 1000 > 1000	1,4 (80)	10000/t 10
Blue-light small source	$E_B = \sum E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300 – 700	≤ 100 > 100	< 0,011	100/t 1,0
Eye IR	$E_{IR} = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	780 – 3000	≤ 1000 > 1000	1,4 (80)	18000/t ^{0,75} 100
Skin thermal	$E_H = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	380 – 3000	< 10	2π sr	20000/t ^{0,75}

Table 5.5 Summary of the ELs for the retina (radiance based values)

Hazard Name	Relevant equation	Wavelength range nm	Exposure duration sec	Field of view radians	EL in terms of constant radiance $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Blue light	$L_B = \sum L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300 – 700	0,25 – 10 10-100 100-10000 ≥ 10000	0,011·√(t/10) 0,011 0,0011·√t 0,1	10 ⁶ /t 10 ⁶ /t 10 ⁶ /t 100
Retinal thermal	$L_R = \sum L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	380 – 1400	< 0,25 0,25 – 10	0,0017 0,011·√(t/10)	50000/(α·t ^{0,25}) 50000/(α·t ^{0,25})
Retinal thermal (weak visual stimulus)	$L_{IR} = \sum L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	780 – 1400	> 10	0,011	6000/α

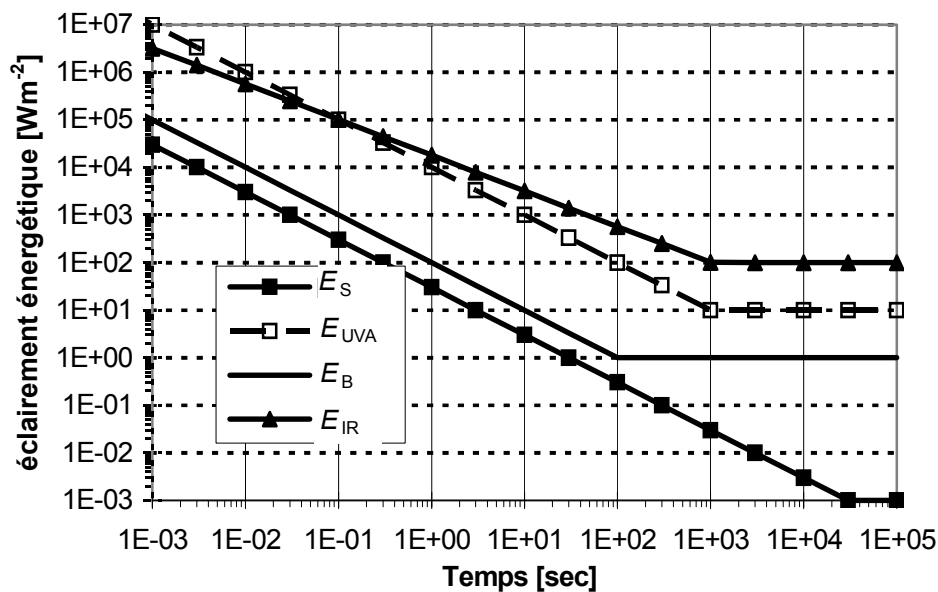


Figure 5.4 Limites d'exposition (éclairage énergétique pondéré) en fonction de la durée en exposition constante.

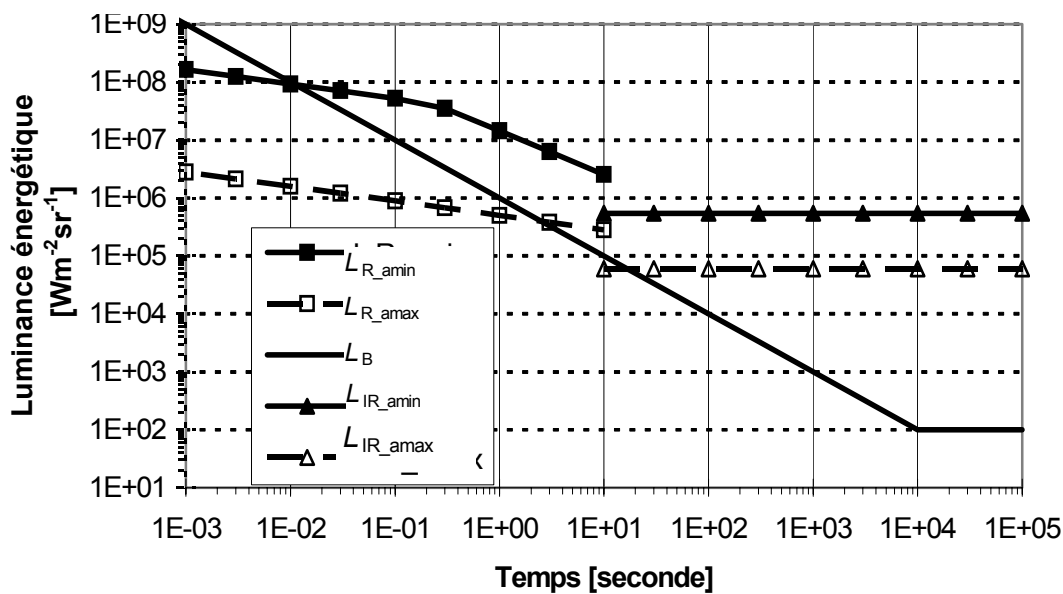


Figure 5.5 Limites de luminance énergétique pondérée en fonction de la durée à exposition constante.

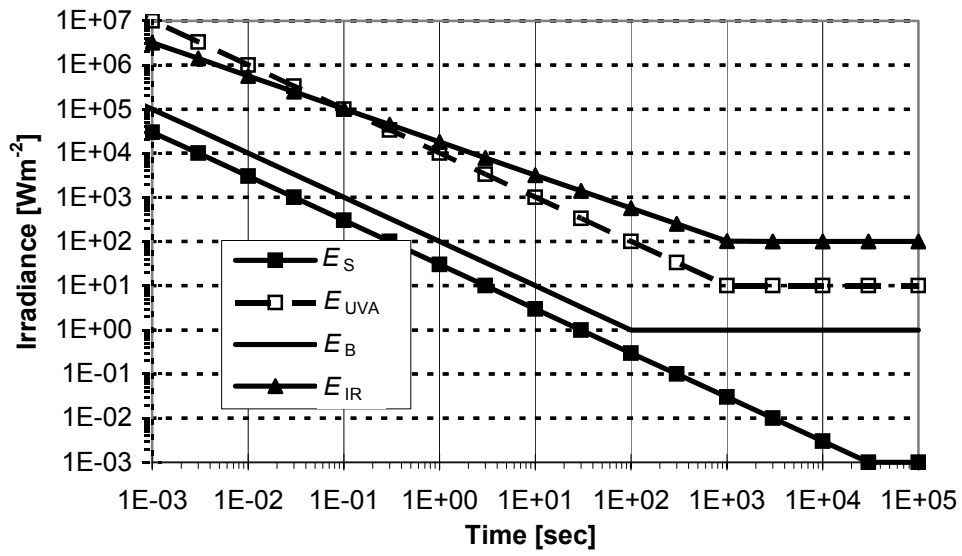


Figure 5.4 Weighted irradiance exposure limits vs. time for constant exposure.

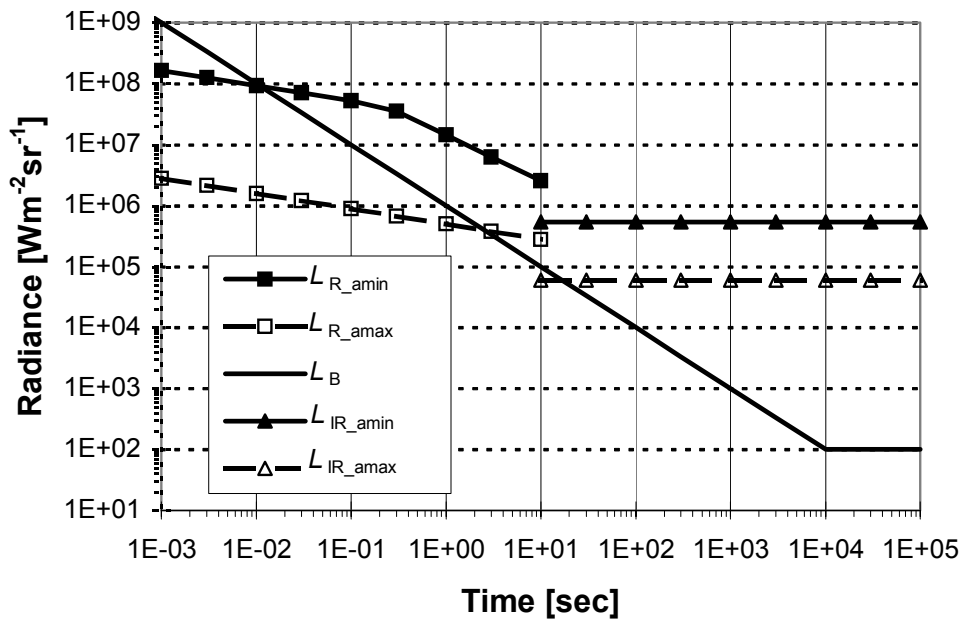


Figure 5.5 Weighted radiance exposure limits vs. time for constant exposure.

6. CLASSIFICATION DES LAMPES

Cette norme a été conçue par le CIE TC6-47 en collaboration avec CEI SC34A. Cet effort conjoint a été estimé important de sorte que la classification en groupe de risque et la distance à laquelle les valeurs de risques photobiologiques liés au rayonnement des sources sont énumérées aient fait l'objet de l'accord. Puisque les sources peuvent être dangereuses sous différents aspects, un schéma de classification constitue une aide. Dans les buts de cette norme, il a été décidé que les valeurs doivent être introduites dans le rapport comme suit:

- pour des lampes d'utilisation courante (LUC), voir la définition 3.11, les valeurs de risque doivent être exprimées soit en luminance énergétique, soit en éclairage énergétique, à la distance qui produit un éclairage lumineux de 500 lux, mais jamais à une distance inférieure à 200 mm;
- pour toute autre source de lumière, y compris les sources pulsées, les valeurs de risques doivent être exprimées à une distance de 200 mm.

Cet article concerne la classification des lampes. Cependant, un système de classification similaire pourrait être applicable aux luminaires et aux autres appareils contenant des lampes. Pour les lampes d'utilisation courante, la distance, à laquelle les mesures d'éclairage énergétique sont effectuées, est laissée à la discrétion du procédé de mesure.

Le schéma de classification ne concerne que quelques risques potentiels. Selon les facteurs utilisés, la durée de l'exposition et les effets des luminaires, ces risques potentiels peuvent ou ne peuvent pas devenir des risques réels. Le tableau 6.1 résume les éclairages énergétiques divers et les limites de la luminance énergétique pour chacun des risques discutés au paragraphe 4.3 pour la classification de chacun des groupes de risques.

Note: Dans certains cas, la même lampe peut être utilisée soit pour l'éclairage général soit pour des applications spéciales. Dans de tel cas, il convient qu'elle soit évaluée et classée pour l'application prévue.

6.1 Lampes en cycle continu

6.1.1 Groupe sans risque

La base de raisonnement, pour que la lampe soit classée dans le groupe sans risque, est que la lampe ne présente aucun risque photobiologique correspondant aux éléments de risque de cette norme. Cette exigence est remplie pour toute lampe qui ne présente pas

- un risque ultraviolet actinique (E_s) pendant 8 heures d'exposition (30000 s), ni
- un risque du proche (E_{UVA}) pendant 1000 s, (environ 16 min), ni
- un risque rétinien lié à la lumière bleue (L_B) en 10000 s (2,8 heures), ni
- un risque thermique rétinien (L_R) pendant 10 s, ni
- un risque aux radiations infrarouges pour l'œil (E_{IR}) en 1000 s.

Ces lampes sont dans le Groupe Sans Risque.

De même, les lampes qui émettent des radiations infrarouges sans stimulus visuel important (c'est-à-dire moins de $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$), et qui ne présentent pas de risque rétinien lié au proche-infrarouge, avec 1000 s d'émission, sont dans le Groupe Sans Risque.

6.1.2 Groupe de risque 1 (faible risque)

La base de raisonnement, pour que la lampe soit classée dans ce groupe, est que la lampe ne présente pas un risque lié aux limites d'exposition en condition d'utilisation normale. Cette exigence est remplie par toute lampe qui excède les limites du Groupe Sans Risque, mais qui ne présente pas

- un risque ultraviolet actinique (E_s) pendant 10000 s, ni
- un risque du proche (E_{UVA}) pour 300 s, ni
- un risque rétinien lié à la lumière bleue (L_B) en 100 s, ni
- un risque thermique rétinien (L_R) pendant 10 s, ni
- un risque aux radiations infrarouges pour l'œil (E_{IR}) en 100 s.

Ces lampes sont dans le Groupe de Risque 1 (faible risque).

Egalement, les lampes qui émettent des radiations infrarouges sans stimulus visuel important (c'est-à-dire, moins de $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$), et ne présentent pas de risque rétinien dans le proche-infrarouge (L_{IR}), pendant 100 s, sont dans le Groupe de Risque 1 (faible risque).

6. LAMP CLASSIFICATION

This standard was developed by CIE TC 6-47 with representation of IEC SC34A. This joint effort was deemed important so that issues concerning risk group classification and distance at which the photobiological hazard values due to lamp radiation are reported could be agreed upon. Since lamps may be hazardous from several aspects, a classification scheme is helpful. For the purposes of this standard it was decided that the values shall be reported as follows:

- for lamps intended for general lighting service (GLS), see definition 3.11, the hazard values shall be reported as either irradiance or radiance values at a distance which produces an illuminance of 500 lux, but not at a distance less than 200 mm;
- for all other light sources, including pulsed lamp sources, the hazard values shall be reported at a distance of 200 mm.

This clause is concerned with lamp classification. However a similar classification system could be applicable to luminaires or other systems containing operating lamps. For lamps intended for general lighting, the distance at which the irradiance measurements are made is left to the discretion of the measurement facility.

The classification scheme indicates only the potential risk. Depending upon use factors, time of exposure, and luminaire effects, these potential hazards may or may not actually become real hazards. Table 6.1 summarizes the various irradiance and radiance emission limits for each of the hazards discussed in clause 4.3 for each risk group classification.

Note: In some cases the same lamp may be used in both GLS and special applications and in such cases should be evaluated and rated for the intended applications.

6.1 Continuous wave lamps

6.1.1 Exempt group

The philosophical basis for the exempt group classification is that the lamp does not pose any photobiological hazard for the end points in this standard. This requirement is met by any lamp that does not pose

- an actinic ultraviolet hazard (E_s) within 8-hours exposure (30000 s), nor
- a near-UV hazard (E_{UVA}) within 1000 s, (about 16 min) nor
- a retinal blue-light hazard (L_B) within 10000 s (about 2,8 h), nor
- a retinal thermal hazard (L_R) within 10 s, nor
- an infrared radiation hazard for the eye (E_{IR}) within 1000 s.

These lamps are in the Exempt Group.

Also, lamps that emit infrared radiation without a strong visual stimulus (i.e., less than $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) and do not pose a near-infrared retinal hazard (L_{IR}) within 1000 s are in the Exempt Group.

6.1.2 Risk Group 1 (Low-Risk)

The philosophical basis for this classification is that the lamp does not pose a hazard due to normal behavioral limitations on exposure. This requirement is met by any lamp that exceeds the limits for the Exempt Group but that does not pose

- an actinic ultraviolet hazard (E_s) within 10000 s, nor
- a near ultraviolet hazard (E_{UVA}) within 300 s, nor
- a retinal blue-light hazard (L_B) within 100 s, nor
- a retinal thermal hazard (L_R) within 10 s, nor
- an infrared radiation hazard for the eye (E_{IR}) within 100 s.

These lamps are in Risk Group 1 (Low-Risk).

Also, lamps that emit infrared radiation without a strong visual stimulus (i.e., less than $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) and do not pose a near-infrared retinal hazard (L_{IR}), within 100 s are in Risk Group 1 (Low-Risk).

6.1.3 Groupe de risque 2 (risque modéré)

La base de raisonnement, pour que la lampe soit classée dans ce groupe, est que la lampe ne présente pas un risque lié à la réponse d'aversion pour les sources à lumière très brillante ou en raison de l'inconfort thermique. Cette exigence est remplie par toute lampe qui excède les limites du groupe de risque 1 (faible risque), mais qui ne présente pas

- un risque ultraviolet actinique (E_s) pendant 1000 s, ni
- un risque de proche (E_{UVA}) pour 100 s, ni
- un risque rétinien lié à la lumière bleue (L_B) en 0,25 s (réponse d'aversion), ni
- un risque thermique rétinien (L_R) pendant 0,25 s (réponse d'aversion), ni
- un risque aux radiations infrarouges pour l'œil (E_{IR}) en 10 s.

Ces lampes sont dans le Groupe de Risque 2 (risque modéré).

Egalement, les lampes qui émettent des radiations infrarouges sans stimulus visuel important (c'est-à-dire, moins de $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$), et ne présentent pas de risque rétinien pour le proche-infrarouge (L_{IR}), pendant 10 s, sont dans le Groupe de Risque 2 (risque modéré).

6.1.4 Groupe de risque 3 (risque élevé)

La base de raisonnement, pour que la lampe soit classée dans ce groupe, est que la lampe puisse présenter un risque même pour une exposition momentanée ou courte. Les lampes qui excèdent les limites des risques de groupe 2 (risque modéré), sont dans le groupe de risque 3 (risque élevé).

6.2 Lampes pulsées

Les critères des lampes pulsées s'appliquent à un cycle unique ou à tout groupe de cycle d'une durée de moins de 0,25 s.

Une lampe pulsée doit être évaluée à la charge énergétique nominale la plus élevée, tel que cela est spécifié par le fabricant.

L'exposition énergétique pondérée, (H ou $E \cdot t$), où le rendement énergétique pondéré en temps intégré, ($L \cdot t$), pour chaque cycle doit être obtenu par l'intégration de l'éclairement énergétique ou de la luminance énergétique pondérée de la source sur la totalité de l'amplitude du cycle, avec un temps d'intégration limité à un maximum de 0,25 s. Le flux énergétique ou le flux énergétique surfacique pondéré calculé doit être comparé aux limites d'exposition (LEs) données au paragraphe 4.3 pour chaque risque photobiologique évalué.

Note: Les valeurs de luminance énergétique pondérée obtenues doivent être moyennées sur le champ de vision conique circulaire de 0,0017 radian incluse dans l'angle, comme cela a été exposé dans le paragraphe 4.2.2.

L'affectation de la source testée à un groupe de risque doit être effectuée comme suit.

- Une lampe qui excède les limites d'exposition doit être classée comme appartenant au groupe de risque 3 (risque élevé).
- Pour des lampes à pulsation unique, une lampe dont l'exposition énergétique pondérée où la dose de luminance énergétique pondérée est en dessous de LE doit être classée comme appartenant au groupe sans risque.
- Pour les lampes à pulsation répétées, une lampe dont l'exposition énergétique pondérée où la dose de luminance énergétique pondérée est inférieure à LE doit être évaluée en utilisant les critères de risques pour les pulsations continues, telles qu'elles sont discutées dans le paragraphe 6.1, utilisant les valeurs d'une durée moyennée pour cette émission pulsée.

6.1.3 Risk Group 2 (Moderate-Risk)

The philosophical basis for the Risk Group 2 (Moderate-Risk) classification is that the lamp does not pose a hazard due to the aversion response to very bright light sources or due to thermal discomfort. This requirement is met by any lamp that exceeds the limits for Risk Group 1 (Low-Risk), but that does not pose

- an actinic ultraviolet hazard (E_s) within 1000 s exposure, nor
- a near ultraviolet hazard (E_{UVA}) within 100 s, nor
- a retinal blue-light hazard (L_B) within 0,25 s (aversion response), nor
- a retinal thermal hazard (L_R) within 0,25 s (aversion response), nor
- an infrared radiation hazard for the eye (E_{IR}) within 10 s.

Such lamps are in Risk Group 2 (Moderate-Risk).

Also, lamps that emit infrared radiation without a strong visual stimulus (i.e., less than $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) and do not pose a near infrared retinal hazard (L_{IR}) within 10 s are in Risk Group 2 (Moderate-Risk).

6.1.4 Risk Group 3 (High-Risk)

The philosophical basis for this classification is that the lamp may pose a hazard even for momentary or brief exposure. Lamps which exceed the limits for Risk Group 2 (Moderate-Risk) are in Risk Group 3 (High-Risk).

6.2 Pulsed lamps

Pulsed lamp criteria shall apply to a single pulse and to any group of pulses within 0,25 second.

A pulsed lamp shall be evaluated at the highest nominal energy loading as specified by the manufacturer.

The relevant weighted radiant exposure, (H or $E\cdot t$), or time-integrated weighted radiance dose, ($L\cdot t$), for each pulse shall be obtained by integration of the weighted irradiance or radiance emitted from the source over the full pulse width, with the integration time limited to a maximum of 0,25 s. The weighted radiant exposure or weighted radiance dose calculated shall be compared to the exposure limits (ELs) given in clause 4.3 for each of the photobiological hazards evaluated.

Note: The weighted radiance values obtained shall be averaged over a right circular cone field of view of 0,0017 radian included angle as discussed in clause 4.2.2.

The risk group determination of the lamp being tested shall be made as follows:

- A lamp that exceeds the exposure limit shall be classified as belonging to Risk Group 3 (High-Risk).
- For single pulsed lamps, a lamp whose weighted radiant exposure or weighted radiance dose is below the EL shall be classified as belonging to the Exempt Group.
- For repetitively pulsed lamps, a lamp whose weighted radiant exposure or weighted radiance dose is below the EL, shall be evaluated using the Continuous wave risk criteria discussed in clause 6.1, using time averaged values of the pulsed emission.

Tableau 6.1 Limites d'émission pour les groupes de risque des lampes en cycle continu.

Risque	Spectre d'action	Symbole	Limites d'émission			Unités
			Sans risque	Risque faible	Risque modéré	
UV actinique	$S_{UV}(\lambda)$	E_s	0,001	0,003	0,03	$W \cdot m^{-2}$
Proche UV		E_{UVA}	10	33	100	$W \cdot m^{-2}$
Lumière bleue	$B(\lambda)$	L_B	100	10000	4000000	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Lumière bleue, petite source	$B(\lambda)$	E_B	1,0*	1,0	400	$W \cdot m^{-2}$
réтинien thermique	$R(\lambda)$	L_R	$28000/\alpha$	$28000/\alpha$	$71000/\alpha$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
réтинien thermique, stimulus visuel faible **	$R(\lambda)$	L_{IR}	$6000/\alpha$	$6000/\alpha$	$6000/\alpha$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
radiation infrarouge œil		E_{IR}	100	570	3200	$W \cdot m^{-2}$
* Petite source définie par $\alpha < 0,011$ radian. Le champ de vision moyenné à 10000 s est 0,1 radian. ** Implique l'évaluation d'une source n'appartenant pas au LUC.						

Table 6.1 Emission limits for risk groups of continuous wave lamps.

Risk	Action spectrum	Symbol	Emission limits			Units
			Exempt	Low risk	Mod risk	
Actinic UV	$S_{UV}(\lambda)$	E_s	0,001	0,003	0,03	$W \cdot m^{-2}$
Near UV		E_{UVA}	10	33	100	$W \cdot m^{-2}$
Blue light	$B(\lambda)$	L_B	100	10000	4000000	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Blue light, small source	$B(\lambda)$	E_B	1,0*	1,0	400	$W \cdot m^{-2}$
Retinal thermal	$R(\lambda)$	L_R	$28000/\alpha$	$28000/\alpha$	$71000/\alpha$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Retinal thermal, weak visual stimulus**	$R(\lambda)$	L_{IR}	$6000/\alpha$	$6000/\alpha$	$6000/\alpha$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
IR radiation, eye		E_{IR}	100	570	3200	$W \cdot m^{-2}$
<p>* Small source defined as one with $\alpha < 0,011$ radian. Averaging field of view at 10000 s is 0,1 radian.</p> <p>** Involves evaluation of non-GLS source</p>						

ANNEXE A
(informative)

RÉSUMÉ DES EFFETS BIOLOGIQUES

Données pour les effets biologique #1 Cataracte au rayonnement infrarouge

A.1 Effet biologique: CATARACTE A INFRAROUGE également appelée "Cataracte à la chaleur (dans l'industrie)", "cataracte des chauffeurs", ou "cataracte des souffleurs de verre".

A.1.1 Organe/localisation: Oeil/cristallin.

A.1.2 Domaine spectral: 700 nm à 1400 nm et parfois jusqu'à 3000 nm.

A.1.3 Pic du spectre d'action: inconnu; probablement entre 900 et 1000 nm.

A.1.4 Etat des connaissances: Données limitées concernant le seuil pour la cataracte aiguë du lapin à 1064 nm (Wolbarsht, 1992) et dans la région IR-A (Pitts & Cullen, 1981); on ne possède pas de données pour l'homme. Le niveau d'addition et le spectre d'action sont inconnus. Bonne preuve épidémiologique (Lydahl, 1984).

A.1.5 Délai d'apparition: L'opacification notable du cristallin suit en général plusieurs années d'exposition chronique à haut niveau, le délai d'apparition dépendant de la différence entre le niveau d'exposition et le seuil, les expositions importantes produisant la réaction dans un délai plus court.

A.1.6 Mécanisme: Habituellement présumé être thermique – cependant, des données récentes suggèrent une possible réaction photochimique - mécanismes physiopathologiques mal connus. Le cristallin peut être soumis à un échauffement soit par irradiation directe (Vogt, 1919), ou par chauffage par conduction à partir de l'élévation thermique de l'iris (Goldmann, 1983).

A.1.7 Symptômes (signes cliniques): Vision brouillée.

A.1.8 Recherches à entreprendre: Spectre d'action, s'il existe, pour les expositions brutales et pour les effets des expositions à la radiation UV simultanées; addition des expositions multiples, et la possibilité d'effets retardés à partir des expositions successives.

A.1.9 Événement documenté avec les lampes: Dommage accidentel inconnu, même après exposition à des lampes de chauffage. Population exposée limitée.

A.1.10 Références essentielles:

GOLDMANN, H. Experimentelle Untersuchungen über die Genese des Feuerstars. 111 Mitteilung. Die Physik des Feuerstars I. Teil. *Arch. für Ophthalmol.*, **130**, 93-130 (1983).

LYDAHL, E. Infrared Radiation and Cataract. *Acta Ophthalmologica*, Suppl. **166**, 1-63 (1984).

PITTS, D.G. and CULLEN, A.P. Determination of Infrared Radiation Levels for Acute Ocular Cataractogenesis. *von Graefes Arch. Ophthalm.*, **217**, 285-297 (1981).

SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. New York, Plenum, (1980).

VOGT, A. Experimentelle Erzeugung von Katarakt durch isoliertes kurzwelliges Ultrarot, dem Rot beigemischt ist. *Klin. Mb/ Augenheilk.*, **63**, 230-231 (1919).

WOLBARSHT, M.L. Cataract from Infrared Lasers: Evidence for Photochemical Mechanisms. *Lasers and Light Ophthalmology*, **4**, 91-96 (1992).

Données pour les effets biologiques #2 Photokératite

A.2 Effect biologique: PHOTOKERATITE

A.2.1 Organe/localisation: Oeil/cornée.

A.2.2 Domaine spectral: (180-200) nm à (400-420) nm; principalement 200 - 320 nm.

A.2.3 Pic du spectre d'action: Approximativement 270 nm (Pitts, 1971); approximativement 288 nm (Cogan & Kinsey, 1946).

ANNEX A
(informative)

SUMMARY OF BIOLOGICAL EFFECTS

Bioeffect datasheet #1: Infrared cataract

A.1 Bioeffect: INFRARED CATARACT also known as "industrial heat cataract", "furnaceman's cataract", or "glassblower's cataract".

A.1.1 Organ/Site: Eye/Crystalline Lens.

A.1.2 Spectral range: 700 nm to 1400 nm and possibly to 3000 nm.

A.1.3 Peak of action spectrum: Not known; probably between 900-1000 nm.

A.1.4 State of knowledge: Limited threshold data available for acute cataract for rabbit at 1064 nm (Wolbarsht, 1992) and IR-A region (Pitts and Cullen, 1981); no data for man. Degree of additivity and action spectrum unknown. Good epidemiological evidence (Lydahl, 1984).

A.1.5 Time course: Noticeable clouding of the lens generally following years of chronic high-level exposure, the elapsed time depending upon how much difference between exposure and threshold, heavy exposures producing reaction in shortest time.

A.1.6 Mechanism: Generally presumed to be thermal, although recent evidence suggests possible photochemical reaction - details not understood. The lens may be heated either from direct irradiation (Vogt, 1919) or by conductive heating from the heated iris (Goldmann, 1983).

A.1.7 Symptoms: Clouding of vision.

A.1.8 Needed information: Action spectrum, if existent, for acute and for effects of concomitant ultraviolet radiation exposure; additivity of multiple exposures, and the possibility of delayed effects from recurrent exposures.

A.1.9 Experience with lamps: Accidental injury is not known, even from exposure to heat lamps. Limited population exposed.

A.1.10 Key references:

GOLDMANN, H. Experimentelle Untersuchungen über die Genese des Feuerstars. 111 Mitteilung. Die Physik des Feuerstars I. Teil. *Arch. für Ophthalmol.*, **130**, 93-130 (1983).

LYDAHL, E. Infrared Radiation and Cataract. *Acta Ophthalmologica*, Suppl. **166**, 1-63 (1984).

PITTS, D.G. and CULLEN, A.P. Determination of Infrared Radiation Levels for Acute Ocular Cataractogenesis. *von Graefes Arch. Ophthalm.*, **217**, 285-297 (1981).

SLINEY, D.H. and WOLBARSH, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. New York, Plenum, (1980).

VOGT, A. Experimentelle Erzeugung von Katarakt durch isoliertes kurzwelliges Ultrarot, dem Rot beigemischt ist. *Klin. Mb/ Augenheilk.*, **63**, 230-231 (1919).

WOLBARSH, M.L. Cataract from Infrared Lasers: Evidence for Photochemical Mechanisms. *Lasers and Light Ophthalmology*, **4**, 91-96 (1992).

Bioeffect datasheet #2: Photokeratitis

A.2 Bioeffect: PHOTOKERATITIS

A.2.1 Organ/Site: Eye/Cornea.

A.2.2 Spectral range: (180-200) nm to (400-420) nm; principally 200-320 nm.

A.2.3 Peak of action spectrum: approximately 270 nm (Pitts, 1971); approximately 288 nm (Cogan and Kinsey, 1946).

- A.2.4 Etat des connaissances:** De bonnes données pour le seuil de l'effet aigu sont disponibles pour le lapin (200 nm à 400 nm); pour le singe (200 nm à 320 nm); pour l'homme (200 nm à 300 nm). Les données de différents laboratoires sont, en général, concordantes.
- A.2.5 Délai d'apparition:** Une réaction notable est généralement retardée, de 4 à 12 heures après l'exposition, le temps d'apparition dépendant de l'écart entre l'exposition et le seuil, les expositions les plus importantes conduisant à une réaction dans le temps le plus court, guérissent en 24 à 48 heures excepté pour des expositions extrêmement importantes.
- A.2.6 Mécanisme:** La réaction photochimique initie une série de réactions biologiques; mécanismes physiopathologiques mal connus.
- A.2.7 Symptômes (signes cliniques):** "sensation de sable dans l'œil", blépharospasme (contraction soudaine, violente, involontaire des muscles des paupières), vision brouillée; réduction de la fente palpébrale (ouverture entre les paupières supérieure et inférieure).
- A.2.8 Recherches à entreprendre:** Meilleure précision des seuils de déclenchement dans l'intervalle 305-320 nm; possibilité d'effet retardé dû à des expositions successives.
- A.2.9 Événement documenté avec les lampes:** L'exposition accidentelle aux lampes germicides, aux lampes à mercure et à arc xénon, n'est pas rare, mais seulement lors d'utilisations spécifiques. Population exposée limitée.

A.2.10 Références essentielles:

COGAN, D.G. and KINSEY, V.E. Action Spectrum of Keratitis Produced by Ultraviolet Radiation. *Arch. Ophthalmol.*, **35**, 670-617 (1946).

HEDBLUM, E.E. Snowscape Eye Protection. *Arch. Environ. Health*, **2**, 685-704 (1961).

LEACH, W. M. *Biological Aspects of Ultraviolet Radiation, A Review of Hazards*. BRH/DBE **70-3**, U.S. Public Health Service, Bureau of Radiological Health, Rockville, Maryland (Sept. 1970).

MACKEEN, D., FINE, S., AARON, A., and FINE, B.S. Preventable Hazards at UV Wavelengths. *Laser Focus*, **7(4)**, 29 (1971).

PITTS, D.G. and TREDICI, T.J. The Effects of Ultraviolet on the Eye. *Amer. Ind. Hyg. Ass. J.* **32(4)**, 235-246 (1971).

Données pour les effets biologique #3 Photorétinite

A.3 Effet biologique: PHOTORETINITE ou "lésion rétinienne par la lumière bleue"

A.3.1 Organe/localisation: Oeil/rétine.

A.3.2 Domaine spectral: 400 nm à 700 nm (principalement entre 400 et 500 nm) pour l'œil complet (cristallin intact); 310 nm à 700 nm pour l'œil aphaque (cristallin enlevé), principalement 310 nm à 500 nm.

A.3.3 Pic du spectre d'action: Approximativement 445 nm (Ham,1976); approximativement 310 nm chez le singe rhésus aphaque (Ham, 1980).

A.3.4 Etat des connaissances: Données pour le seuil de réactions aiguës de bonne qualité chez le singe ont été obtenues, et quelques données validantes chez l'homme pour les longueurs d'ondes des lasers utilisés médicalement, et les observations accidentelles du soleil et de la soudure à l'arc.

A.3.5 Délai d'apparition: Le mécanisme de cette lésion domine sur l'agression thermique uniquement pour des durées d'exposition supérieures à 10 secondes. Une réaction notable est généralement retardée de plus de 12 heures après l'exposition, le temps d'apparition dépendant énormément de la différence entre exposition et seuil, les expositions très importantes produisent une réaction après un temps plus court; le pic de réaction est habituellement observé à 48 heures. On a pu observer une certaine récupération chez l'homme après exposition accidentelle aux arcs de soudure et à l'observation fixe du soleil.

A.3.6 Mécanisme: La réaction photochimique initie une chaîne de réactions biologiques apparemment centrées sur l'épithélium pigmentaire rétinien; mécanismes physiopathologiques mal compris.

- A.2.4 State of knowledge:** Good acute threshold data available for rabbit (200 nm to 400 nm); for monkey (200 nm to 320 nm); for man (200 nm to 300 nm). Data from different laboratories are generally in good agreement.
- A.2.5 Time course:** Noticeable reaction generally delayed by 4 to 12 hours following the exposure, the elapsed time depending upon how much difference in exposure and threshold, heavy exposures producing reaction in shortest time; clearing in 24 to 48 hours, except for extremely severe exposures.
- A.2.6 Mechanism:** Photochemical reaction initiates chain of biological reactions; details not understood.
- A.2.7 Symptoms:** "Sand in the eye", blepharospasm (sudden, violent, involuntary contraction of the muscles of the eyelid), some clouding of vision; reaction in the palpebral fissure (opening between the upper and lower eyelids).
- A.2.8 Needed information:** Higher resolution of thresholds in 305 nm to 320 nm range; possibility of delayed effects due to recurrent exposures.
- A.2.9 Experience with lamps:** Not uncommon accidental exposure from germicidal lamps and mercury and xenon-arc lamps, but only in special applications. Limited population exposed.
- A.2.10 Key references:**

COGAN, D.G. and KINSEY, V.E. Action Spectrum of Keratitis Produced by Ultraviolet Radiation. *Arch. Ophthalmol.*, **35**, 670-617 (1946).

HEDBLUM, E.E. Snowscape Eye Protection. *Arch. Environ. Health*, **2**, 685-704 (1961).

LEACH, W. M. *Biological Aspects of Ultraviolet Radiation, A Review of Hazards*. BRH/DBE **70-3**, U.S. Public Health Service, Bureau of Radiological Health, Rockville, Maryland (Sept. 1970).

MACKEEN, D., FINE, S., AARON, A., and FINE, B.S. Preventable Hazards at UV Wavelengths. *Laser Focus*, **7(4)**, 29 (1971).

PITTS, D.G. and TREDICI, T.J. The Effects of Ultraviolet on the Eye. *Amer. Ind. Hyg. Ass. J.* **32(4)**, 235-246 (1971).

Bioeffect datasheet #3: Photoretinitis

- A.3 Bioeffect:** PHOTORETINITIS or "blue-light retinal injury"
- A.3.1 Organ/Site:** Eye/Retina.
- A.3.2 Spectral range:** 400 nm to 700 nm (principally 400-500 nm) in phakic eye (crystalline lens intact); 310 nm to 700 nm in aphakic (crystalline lens removed) eye (principally 310 nm to 500 nm).
- A.3.3 Peak of action spectrum:** Approximately 445 nm (Ham, 1976); approximately 310 nm in aphakic (Ham, 1980) in rhesus monkey.
- A.3.4 State of knowledge:** Good acute threshold data available for monkey and some corroborative data for man at medically used laser wavelengths and from accidental viewing of the sun or welding arcs.
- A.3.5 Time course:** This mechanism of injury is dominant over thermal injury only for lengthy (greater than 10 seconds) exposures. Noticeable reaction generally delayed by more than 12 hours following the exposure, the elapsed time depending upon how much difference in exposure and threshold, heavy exposures producing reaction in shortest time; greatest reaction generally noted at 48 hours. Some recovery is noted in human accidental exposures to arcs and sun-gazing.
- A.3.6 Mechanism:** Photochemical reaction initiates chain of biological reactions, apparently centered in retinal pigment epithelium; details not understood.

A.3.7 Symptômes (signes cliniques): "tache aveugle", ou scotome, où la source brillante a fait image sur la rétine. Une lésion visible rétinienne (normalement dépigmentée en cas d'exposition à la lumière bleue ou hyperpigmentée après exposition à certaines radiations UV) est observée à l'examen ophtalmologique dans les 48 heures suivant l'exposition. La perte de vision peut être permanente, bien qu'une certaine récupération puisse être observée dans des cas d'exposition modérée.

A.3.8 Recherches à entreprendre: Meilleure connaissance des mécanismes de la lésion; données entre 400 nm et 450 nm pour les durées d'exposition inférieures à 10 secondes, données sur l'addition d'expositions multiples, et la possibilité d'effets retardés des expositions successives à des niveaux inférieurs au seuil d'effet aigu.

A.3.9 Événement documenté avec les lampes: Lésions extrêmement rares, ou la plupart du temps non signalées, causées par l'exposition excessive résultant de l'observation fixe des lampes. La réponse naturelle d'aversion limite normalement les expositions et évite la photorétinite. La population potentiellement exposée aux risques est limitée.

A.3.10 Références essentielles:

HAM, W.T. Jr, MUELLER, H.A., and SLINEY, D.H. Retinal Sensitivity to Damage by Short-Wavelength Light. *Nature*, **260(5547)**, 153-155 (1976).

HAM, W.T. Jr, RUFFOLO, J.J. Jr, MUELLER, H.A., and GUERRY, D. The Nature of Retinal Radiation Damage: Dependence on Wavelength, Power Level and Exposure Time. *Vision Res.*, **20(12)**, 1105-1111 (1980).

MAINSTER, M.A. Spectral Transmission of Intraocular Lenses and Retinal Damage from Intense Light Sources. *Am. J. Ophthalmol.*, **85**, 167-170 (1978).

MARSHALL, J. Light Damage and the Practice of Ophthalmology. In: *Intraocular Lens Implantation*, Rosen E., Arnott, E., and Haining, W. (eds). London, Moseby-Yearbook, Ltd. (1983).

PITTS, D.G. The Human Ultraviolet Action Spectrum. *American Journal Optom. Physiol. Opt.*, **51**, 946-960 (1974).

SLINEY, D.H. Eye Protective Techniques for Bright Light. *Ophthalmology*, **90(8)**, 937-944 (1983).

SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. New York, Plenum (1980).

SPERLING, H.G. (ed). Intense Light Hazards in Ophthalmic Diagnosis and Treatment. Proceedings of a Symposium, *Vision Res.*, **20(12)**, 1033-1203 (1980).

VARMA, S.D. and LERMAN, S. (eds). Proceedings of the First International Symposium on Light and Oxygen Effects on the Eye. Oxford: IRL Press (1984) [also published as *Current Eye Res.*, **3(1)** (1984)].

WAXIER, M. and HITCHENS, V. (eds). *Optical Radiation and Visual Health*. Boca Raton, CRC Press (1986).

WILLIAMS, T.B. and BAKER, B.N. (eds). *The Effects of Constant Light on the Visual System*. New York, Plenum Press (1980).

YOUNG, R.W. A Theory of Central Retinal Disease. In: *New Directions in Ophthalmic Research*, Sears, M.L. (ed). New Haven, Yale University Press, 237-270 (1981).

Données pour les effets biologique #4 Lésion rétinienne thermique

A.4 Effet biologique: LESION RETINIENNE THERMIQUE

A.4.1 Organe/localisation: Oeil/rétine et choroïde.

A.4.2 Domaine spectral: 400 nm à 1400 nm (principalement 400 nm à 1100 nm).

A.4.3 Pic du spectre d'action: Approximativement 500 nm (Ham, 1966).

A.4.4 Etat des connaissances: Bonnes données pour le seuil aigu obtenu pour le lapin et le singe, et données limitées pour l'homme. Les données de différents laboratoires concordent généralement.

- A.3.7 Symptoms:** "Blind spot", or scotoma where the bright arc was imaged on the retina. A retinal visible lesion (normally depigmented from blue light or hyperpigmented from some ultraviolet wavelengths) is seen under ophthalmic examination within 48 hours post-exposure. Loss of vision may be permanent, although recovery is noted in mild cases.
- A.3.8 Needed information:** More knowledge of injury mechanism; data at 400 nm to 450 nm for exposure durations less than 10 seconds; data on additivity of multiple exposures and the possibility of delayed effects from to recurrent exposures at levels below the acute threshold.
- A.3.9 Experience with lamps:** Extremely rare or largely unreported injuries due to excessive exposure from staring at lamps. The natural aversion response normally limits exposure to preclude photoreinitis. Limited population potentially exposed.

A.3.10 Key references:

- HAM, W.T. Jr, MUELLER, H.A., and SLINEY, D.H. Retinal Sensitivity to Damage by Short-Wavelength Light. *Nature*, **260(5547)**, 153-155 (1976).
- HAM, W.T. Jr, RUFFOLO, J.J. Jr, MUELLER, H.A., and GUERRY, D. The Nature of Retinal Radiation Damage: Dependence on Wavelength, Power Level and Exposure Time. *Vision Res.*, **20(12)**, 1105-1111 (1980).
- MAINSTER, M.A. Spectral Transmission of Intraocular Lenses and Retinal Damage from Intense Light Sources. *Am. J. Ophthalmol.*, **85**, 167-170 (1978).
- MARSHALL, J. Light Damage and the Practice of Ophthalmology. In: *Intraocular Lens Implantation*, Rosen E., Arnott, E., and Haining, W. (eds). London, Moseby-Yearbook, Ltd. (1983).
- PITTS, D.G. The Human Ultraviolet Action Spectrum. *American Journal Optom. Physiol. Opt.*, **51**, 946-960 (1974).
- SLINEY, D.H. Eye Protective Techniques for Bright Light. *Ophthalmology*, **90(8)**, 937-944 (1983).
- SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. New York, Plenum (1980).
- SPERLING, H.G. (ed). Intense Light Hazards in Ophthalmic Diagnosis and Treatment. Proceedings of a Symposium, *Vision Res.*, **20(12)**, 1033-1203 (1980).
- VARMA, S.D. and LERMAN, S. (eds). *Proceedings of the First International Symposium on Light and Oxygen Effects on the Eye*. Oxford: IRL Press (1984) [also published as *Current Eye Res.*, **3(1)** (1984).]
- WAXIER, M. and HITCHENS, V. (eds). *Optical Radiation and Visual Health*. Boca Raton, CRC Press (1986).
- WILLIAMS, T.B. and BAKER, B.N. (eds). *The Effects of Constant Light on the Visual System*. New York, Plenum Press (1980).
- YOUNG, R.W. A Theory of Central Retinal Disease. In: *New Directions in Ophthalmic Research*, Sears, M.L. (ed). New Haven, Yale University Press, 237-270 (1981).

Bioeffect datasheet #4: Retinal thermal injury

- A.4 Bioeffect:** RETINAL THERMAL INJURY
- A.4.1 Organ/Site:** Eye/Retina and Choroid.
- A.4.2 Spectral range:** 400 nm to 1400 nm (principally 400 nm to 1100 nm).
- A.4.3 Peak of action spectrum:** Approximately 500 nm (Ham, 1966).
- A.4.4 State of knowledge:** Good acute threshold data available for rabbit and monkey, and limited data for man. Data from different laboratories generally in good agreement.

- A.4.5 Délai d'apparition:** Ce mécanisme de lésion s'impose à la blessure photochimique rétinienne pour des temps d'expositions courts (moins de 10 secondes) ou à les longueurs d'ondes supérieures à 700 nm. La réaction notée est habituellement immédiate (ou dans les 5 minutes) après l'exposition. La récupération est limitée ou nulle.
- A.4.6 Mécanisme:** La réaction thermochimique dénature les protéines et les autres composants biologiques importants des cellules, accompagnant la destruction des tissus biologiques. L'absorption de la lumière et la blessure initiale sont centrées sur l'épithélium pigmentaire rétinien et la choroïde.
- A.4.7 Symptômes (signes cliniques):** "tache aveugle" ou scotome, où la source brillante est transposée en image sur la rétine. Une lésion rétinienne visible (normalement dépigmentée) est observée à l'examen ophtalmologique normalement dans les 5 minutes et certainement dans les 24 heures suivant l'exposition. La perte de vision peut être plus importante juste après l'exposition et une récupération limitée peut survenir dans les 14 jours.
- A.4.8 Recherches à entreprendre:** Plus de données pour des images dont la taille est importante (supérieure à 1 mm).
- A.4.9 Événement documenté avec les lampes:** Virtuellement aucune lampe n'est capable de causer ce type de lésion. Un arc à xénon concentré sur l'œil peut causer un effet comme cela a été montré cliniquement. Cependant, l'incidence doit être extrêmement rare ou les blessures nettement sous déclarées lorsque l'on regarde un arc à xénon agrandi. La réponse naturelle d'aversion limite, normalement, les expositions avant d'induire une blessure.
- A.4.10 Références essentielles:**
- ALLEN, R.A. Retinal Thermal Injury. *Proc ACGIH Topical Symposium*, 26-28 November 1979, ACGIH, Cincinnati, Ohio (1980).
- HAM, W.T. Jr, RUFFOLO, J.J. Jr, MUELLER, H.A., and GUERRY, D. The Nature of Retinal Radiation Damage: Dependence on Wavelength, Power Level and Exposure Time. *Vision Res.*, **20(12)**, 1105-1111 (1980).
- HAM, W.T. Jr, WILLIAMS, R.C., GEERAETS, W.J., MUELLER, H.A., GUERRY, D., CLARKE, A.M., and GEERAETS, W.J. Effects of Laser Radiation on the Mammalian Eye. *Trans. NY Acad. Sci.*, **28**, 517-526 (1966).
- SLINEY, D.H. and WOLBARSH, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. Plenum, New York (1980).

Données pour les effets biologique #5 Cataracte au rayonnement ultraviolet

- A.5 Effet biologique:** CATARACTE AU RAYONNEMENT ULTRAVIOLET
- A.5.1 Organe/localisation:** Oeil/cristallin.
- A.5.2 Domaine spectral:** 290 nm à 325 nm; éventuellement à 400 nm.
- A.5.3 Pic du spectre d'action:** Approximativement 305 nm (Pitts, 1977) pour la cataracte aiguë; pas de spectre d'action obtenu pour les effets aux longueurs d'ondes supérieures à 325 nm (Lerman, 1980, Zigman, 1979).
- A.5.4 Etat des connaissances:** Données pour le seuil aigu et de bonne qualité pour le lapin et le singe (295 nm à 325 nm); pas de données pour l'homme pour la cataracte aiguë, mais des preuves épidémiologiques existent pour les expositions chroniques aux radiations UVB (Taylor, 1988).
- A.5.5 Délai d'apparition:** Opacification notable du cristallin survenant 4 heures ou plus après l'exposition, le temps d'apparition dépendant de la différence d'exposition entre le seuil, les expositions les plus importantes produisent la réaction dans un temps plus court; un certain éclaircissement se produit dans les jours suivants uniquement pour les expositions à la dose seuil; sinon l'opacification du cristallin est définitive.
- A.5.6 Mécanisme:** Réaction photochimique; les détails ne sont pas connus.
- A.5.7 Symptômes (signes cliniques):** Vision brouillée.

- A.4.5 Time course:** This mechanism of injury is dominant over photochemical retinal injury for short (less than 10 seconds) exposures or at wavelengths greater than 700 nm. Noticeable reaction is normally immediate (or within 5 minutes) following the exposure. Recovery is limited or nonexistent.
- A.4.6 Mechanism:** Thermochemical reaction denatures proteins and other key biological components of cells with destruction of biological tissue. Light absorption and initial injury centered in retinal pigment epithelium and choroid.
- A.4.7 Symptoms:** "Blind spot" or scotoma where the bright source was imaged on the retina. A retinal lesion visible (normally depigmented) is seen under ophthalmic examination normally within 5 minutes, and certainly within 24 hours post-exposure. Loss of vision will be greatest just after the exposure and some limited recovery may occur within 14 days.
- A.4.8 Needed information:** More data on large image size (> 1 mm) exposures.
- A.4.9 Experience with lamps:** Virtually no lamp is capable of causing this type of injury. A xenon arc focussed into the eye can cause the effect as shown clinically. Hence the incidence must be extremely rare or largely unreported injuries from staring at magnified xenon arc. Natural aversion response normally limits exposure to preclude injury.
- A.4.10 Key references:**

ALLEN, R.A. Retinal Thermal Injury. *Proc ACGIH Topical Symposium*, 26-28 November 1979, ACGIH, Cincinnati, Ohio (1980).

HAM, W.T. Jr, RUFFOLO, J.J. Jr, MUELLER, H.A., and GUERRY, D. The Nature of Retinal Radiation Damage: Dependence on Wavelength, Power Level and Exposure Time. *Vision Res.*, **20(12)**, 1105-1111 (1980).

HAM, W.T. Jr, WILLIAMS, R.C., GEERAETS, W.J., MUELLER, H.A., GUERRY, D., CLARKE, A.M., and GEERAETS, W.J. Effects of Laser Radiation on the Mammalian Eye. *Trans. NY Acad. Sci.*, **28**, 517-526 (1966).

SLINEY, D.H. and WOLBARSH, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. Plenum, New York (1980).

Bioeffect datasheet #5: Ultraviolet cataract

- A.5 Bioeffect:** ULTRAVIOLET CATARACT
- A.5.1 Organ/Site:** Eye/Crystalline Lens
- A.5.2 Spectral range:** 290 nm to 325 nm; possibly to 400 nm.
- A.5.3 Peak of action spectrum:** Approximately 305 nm (Pitts, 1977) for acute cataract; no action spectrum available for effect at wavelengths > 325 nm (Lerman, 1980, Zigman, 1979).
- A.5.4 State of knowledge:** Good acute threshold data available for rabbit and monkey (295 nm to 325 nm); no data for man for acute cataract, but epidemiological evidence exists for chronic exposure to UV-B radiation (Taylor, 1988).
- A.5.5 Time course:** Noticeable clouding of the lens generally delayed by 4 or more hours following the exposure, the elapsed time depending upon how much difference in exposure and threshold, heavy exposures producing reaction in shortest time; some clearing within days only near threshold; otherwise permanent opacification of the lens.
- A.5.6 Mechanism:** Photochemical reaction; details not understood.
- A.5.7 Symptoms:** Clouding of vision.

A.5.8 Recherches à entreprendre: Spectre d'action, s'il existe, pour les effets aigus des expositions aux UVA. Addition des expositions multiples et possibilité d'effets retardés lors des expositions successives.

A.5.9 Événement documenté avec les lampes: La lésion accidentelle est connue, même après exposition aux lampes à arcs xénon. Population exposée limitée.

A.5.10 Références essentielles:

BRACHEM, A. Ophthalmic ultraviolet action spectra. *Am. J. Ophthalmol.*, **41**, 969-976 (1956).

LERMAN, S. *Radiant Energy and the Eye*. Mac Millan, Inc., New York, (1980).

PARRISH, J.A., ANDERSON, R.R., URBACH, F., and PITTS, D. *UV-A: Biological Effects of Ultraviolet Radiation with Emphasis on Human Responses to Longwave Ultraviolet*. Plenum Press, New York (1978).

PITTS, D.G. The Ocular Ultraviolet Action Spectrum and Protection Criteria. *Health Physics*, **25**, 559-566 (1973).

PITTS, D.G., CULLEN, A.P., and HACKER, P.D. Ocular Ultraviolet Effects from 295-1000 nm. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **16(10)**, 932-939 (1977).

SLINEY, D.H. Estimating the Solar Ultraviolet Radiation Exposure to an Intraocular Lens Implant. *J. Cataract Refract. Surg.*, **13**, 296-301, May 1987.

SLINEY, D.H. Physical Factors in Cataractogenesis - Ambient Ultraviolet Radiation and Temperature. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **27(5)**, 781-790, 1986.

TAYLOR, H.R., WEST, S.K., ROSENTHAL, F.S., MUNOZ, B., NEWLAND, H.S., ABBEY, H., and EMMETT, E.A. Effect of Ultraviolet Radiation on Cataract Formation. *New England Journal of Medicine*, **319**, 1429 (1988).

WAXIER, M. and HITCHENS, V. (eds). *Optical Radiation and Visual Health*. Boca Raton, CRC Press (1986).

ZIGMAN, S., DATILES, M., and TORCYZNSKI, E. Sunlight and Human Cataracts. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **18(5)**, 462-467, 1979.

ZUCLICH, J.A. and CONNOLLY, J.S. Ocular Damage Induced by Near Ultraviolet Laser Radiation. *Invest. Ophthalmol.*, **15**, 760-764 (1976).

Données pour les effets biologique #6 Erythème actinique

A.6 Effet biologique: ERYTHEME ACTINIQUE

A.6.1 Organe / localisation: Peau

A.6.2 Domaine spectral: 180-200 à 400-420 nm; principalement 200-320 nm.

A.6.3 Pic du spectre d'action: Approximativement 295 nm (Urbach, 1968, Anders, 1995); approximativement 254 nm (Hausser, 1928, Coblentz, 1935, Freeman, 1966).

A.6.4 Etat des connaissances: Bonnes données du seuil aigu obtenus chez l'homme (250 à 400 nm). Les données de différents laboratoires sont en général concordantes, si l'on prend en compte deux spectres d'action, l'un pour 4 à 8 heures, et l'autre pour 24 à 48 heures.

A.6.5 Délai d'apparition: Réactions visibles habituellement retardées de 4 à 12 heures après l'exposition, le temps d'apparition dépend de l'écart d'exposition avec le seuil, les expositions sévères produisant des réactions dans un temps plus court; disparition en 24 à 48 heures, excepté pour les expositions très importantes.

A.6.6 Mécanisme: La réaction photochimique initie une chaîne de réactions biologiques; les réactions détaillées sont mal comprises (van der Leun, 1965).

A.6.7 Symptômes (signes cliniques): "coup de soleil", rougeur de la peau aux sites d'expositions aux radiations UV.

A.6.8 Recherches à entreprendre: Résolution très élevée des seuils dans le domaine de 305 à 320 nm; possibilité d'effets retardés dus aux expositions successives.

- A.5.8 Needed information:** Action spectrum, if existent, for acute and effects for UV-A exposure; additivity of multiple exposures and the possibility of delayed effects from recurrent exposures.
- A.5.9 Experience with lamps:** Accidental injury is known, even from exposure to xenon-arc lamps. Limited population exposed.

A.5.10 Key references:

- BRACHEM, A. Ophthalmic ultraviolet action spectra. *Am. J. Ophthalmol.*, **41**, 969-976 (1956).
- LERMAN, S. *Radiant Energy and the Eye*. Mac Millan, Inc., New York, (1980).
- PARRISH, J.A., ANDERSON, R.R., URBACH, F., and PITTS, D. *UV-A: Biological Effects of Ultraviolet Radiation with Emphasis on Human Responses to Longwave Ultraviolet*. Plenum Press, New York (1978).
- PITTS, D.G. The Ocular Ultraviolet Action Spectrum and Protection Criteria. *Health Physics*, **25**, 559-566 (1973).
- PITTS, D.G., CULLEN, A.P., and HACKER, P.D. Ocular Ultraviolet Effects from 295-1000 nm. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **16(10)**, 932-939 (1977).
- SLINEY, D.H. Estimating the Solar Ultraviolet Radiation Exposure to an Intraocular Lens Implant. *J. Cataract Refract. Surg.*, **13**, 296-301, May 1987.
- SLINEY, D.H. Physical Factors in Cataractogenesis - Ambient Ultraviolet Radiation and Temperature. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **27(5)**, 781-790, 1986.
- TAYLOR, H.R., WEST, S.K., ROSENTHAL, F.S., MUNOZ, B., NEWLAND, H.S., ABBEY, H., and EMMETT, E.A. Effect of Ultraviolet Radiation on Cataract Formation. *New England Journal of Medicine*, **319**, 1429 (1988).
- WAXIER, M. and HITCHENS, V. (eds). *Optical Radiation and Visual Health*. Boca Raton, CRC Press (1986).
- ZIGMAN, S., DATILES, M., and TORCYZNSKI, E. Sunlight and Human Cataracts. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **18(5)**, 462-467, 1979.
- ZUCLICH, J.A. and CONNOLLY, J.S. Ocular Damage Induced by Near Ultraviolet Laser Radiation. *Invest. Ophthalmol.*, **15**, 760-764 (1976).

Bioeffect datasheet #6: Ultraviolet erythema

- A.6 Bioeffect:** ULTRAVIOLET ERYTHEMA
- A.6.1 Organ/Site:** Skin
- A.6.2 Spectral range:** 180-200 to 400-420 nm; principally 200-320 nm.
- A.6.3 Peak of action spectrum:** Approximately 295 nm (Urbach, 1968, Anders, 1995); approximately 254 nm (Hausser, 1928, Coblentz, 1932, Freeman, 1966).
- A.6.4 State of knowledge:** Good acute threshold data available for man (254 to 400 nm). Data from different laboratories generally in good agreement if one takes into account two action spectra one for 4 to 8 hours and another for 24 to 48 hours.
- A.6.5 Time course:** Noticeable reaction generally delayed by 4 to 12 hours following the exposure, the elapsed time depending upon how much difference in exposure and threshold, heavy exposures producing reaction in shortest time; clearing in 24 to 48 hours, except for extremely severe exposures.
- A.6.6 Mechanism:** Photochemical reaction initiates chain of biological reactions; details not well understood (van der Leun, 1965).
- A.6.7 Symptoms:** "Sunburn", reddening of the skin at sites of ultraviolet radiation exposure.
- A.6.8 Needed information:** Higher resolution of thresholds in 305-320 nm range; possibility of delayed effects due to recurrent exposures.

A.6.9 Événement documenté avec les lampes: Exposition accidentelle assez fréquente aux lampes germicides et aux lampes à mercure et arc xénon, mais seulement dans des conditions particulières. Expositions intentionnelles aux lampes à bronzer.

A.6.10 Références essentielles:

ANDERS, A., ALTHEIDE, H., KNALMANN, M., and TRONNIER, H. Action Spectrum for Erythema in Humans Investigated with Dye Lasers. *Photochemistry and Photobiology*, **61**, 200, (1995).

COBLENTZ, W.W. and STAIR, R. Data on the Spectral Erythemic Reaction of the Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. *Bur. Stand. J. Res.*, **8**, 541 (1932).

COBLENTZ, W.W. and STAIR, R. Data on the Spectral Erythemic Reaction of the Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. *Bur. Stand. J. Res.*, **12**, 13-14 (1934).

COBLENTZ, W.W., STAIR, R., and HOGUE, J.M. The Spectral Erythemic Reaction of the Human Skin to Ultraviolet Radiation. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.*, **17**, 401-403 (June 1931).

FITZPATRICK, T.B., PATHAK, M.A., HARBER, L.C., SIEJI, M., and KUKITA, A. (eds). *Sunlight and Man*. Tokyo, Tokyo University Press (1974).

FITZPATRICK, T.B. *Dermatology in general medicine* 5th ed. McGraw Hill, New York, pp. 1555-1561, (1999) and its references.

FREEMAN, R.G., OWENS, D.W., KNOX, J.M., and HUDSON, H.T. Relative Energy Requirements for an Erythematous Response of Skin to Monochromatic Wavelengths of Ultraviolet Present in the Solar Spectrum. *J. Invest. Dermat.*, **64**, 586-592 (1966).

HAUSSER, K.W. Influence of Wavelength in Radiation Biology. *Strahlentherapie*, **28**, 25-44 (1928).

HAUSSER, K.W. and VAHLE, W. Sunburn and Suntanning. *Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Siemens Konzerns* **6(1)**, 101-120 (1927), Translated in: *Biologic Effects of Ultraviolet Radiation* (F. Urbach, ed), Pergamon Press, New York (1969).

HAWK ed. *Photodermatology*. Arnold, London, pp. 43-52, (1999) and its references.

ISO 17166:1999 / CIE S007 – 1998 *Erythema reference action spectrum and standard erythema dose*.

van der LEUN, J.C. Theory of Ultraviolet Erythema. *Photochemistry and Photobiology*, **4**, 453, (1965).

LUCKIESH, M., HOLLADAY, L.L., and TAYLOR, A.H. Reaction of Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. *J. Opt. Soc. Amer.*, **20**, 423-432 (1930).

PARRISH, J.A., JAENICKE, K.F. and ANDERSON, R.R. Erythema and melanogenesis action spectrum of normal human skin. *Photochemistry and Photobiology*, **36**, 187, 1982.

SCHMIDT, K. On the Skin Erythema Effect of UV Flashes. *Strahlentherapie*, **124**, 127-136 (May 1964).

URBACH, F. (ed). *The Biologic Effects of Ultraviolet Radiation*. Pergamon Press, New York. pp. 83-39, 327-436, 541-654, (1968).

World Health Organization. Ultraviolet Radiation. *Environmental Health Criteria* **14**, WHO, Geneva (1979).

A.6.9 Experience with lamps: Not uncommon accidental exposure from germicidal lamps and mercury and xenon-arc lamps, but only in special applications. Intentional exposure from sunlamp products.

A.6.10 Key references:

ANDERS, A., ALTHEIDE, H., KNALMANN, M., and TRONNIER, H. Action Spectrum for Erythema in Humans Investigated with Dye Lasers. *Photochemistry and Photobiology*, **61**, 200, (1995).

COBLENTZ, W.W. and STAIR, R. Data on the Spectral Erythemic Reaction of the Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. *Bur. Stand. J. Res.*, **8**, 541 (1932).

COBLENTZ, W.W. and STAIR, R. Data on the Spectral Erythemic Reaction of the Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. *Bur. Stand. J. Res.*, **12**, 13-14 (1934).

COBLENTZ, W.W., STAIR, R., and HOGUE, J.M. The Spectral Erythemic Reaction of the Human Skin to Ultraviolet Radiation. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.*, **17**, 401-403 (June 1931).

FITZPATRICK, T.B., PATHAK, M.A., HARBER, L.C., SIEJI, M., and KUKITA, A. (eds). *Sunlight and Man*. Tokyo, Tokyo University Press (1974).

FITZPATRICK, T.B. *Dermatology in general medicine* 5th ed. McGraw Hill, New York, pp. 1555-1561, (1999) and its references.

FREEMAN, R.G., OWENS, D.W., KNOX, J.M., and HUDSON, H.T. Relative Energy Requirements for an Erythematous Response of Skin to Monochromatic Wavelengths of Ultraviolet Present in the Solar Spectrum. *J. Invest. Dermat.*, **64**, 586-592 (1966).

HAUSSER, K.W. Influence of Wavelength in Radiation Biology. *Strahlentherapie*, **28**, 25-44 (1928).

HAUSSER, K.W. and VAHLE, W. Sunburn and Suntanning. *Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Siemens Konzerns* **6(1)**, 101-120 (1927), Translated in: *Biologic Effects of Ultraviolet Radiation* (F. Urbach, ed), Pergamon Press, New York (1969).

HAWK ed. *Photodermatology*. Arnold, London, pp. 43-52, (1999) and its references.

ISO 17166:1999 / CIE S007 – 1998 *Erythema reference action spectrum and standard erythema dose*.

van der LEUN, J.C. Theory of Ultraviolet Erythema. *Photochemistry and Photobiology*, **4**, 453, (1965).

LUCKIESH, M., HOLLADAY, L.L., and TAYLOR, A.H. Reaction of Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. *J. Opt. Soc. Amer.*, **20**, 423-432 (1930).

PARRISH, J.A., JAENICKE, K.F. and ANDERSON, R.R. Erythema and melanogenesis action spectrum of normal human skin. *Photochemistry and Photobiology*, **36**, 187, 1982.

SCHMIDT, K. On the Skin Erythema Effect of UV Flashes. *Strahlentherapie*, **124**, 127-136 (May 1964).

URBACH, F. (ed). *The Biologic Effects of Ultraviolet Radiation*. Pergamon Press, New York. pp. 83-39, 327-436, 541-654, (1968).

World Health Organization. Ultraviolet Radiation. *Environmental Health Criteria* **14**, WHO, Geneva (1979).

ANNEXE B (informative)

METHODE DE MESURE

B.1 Instrumentation

B.1.1 Double monochromateur: instrument recommandé

La mesure d'une source dans le but de classement de risque nécessite une précision dans l'étalonnage et dans le test. La réponse des détecteurs à large spectre et la résolution spectrale élevée nécessaires à l'obtention d'une fonction de pondération précise entraînent des exigences importantes pour rejeter la lumière parasite émise hors des bandes spectrales. Les sources d'étalonnage produisent une émission à large spectre qui doit être éliminée de la bande passante. Il convient que le rapport de l'énergie extérieure à la bande passante sur l'énergie de la bande passante à 270 nm pour les lampes de calibration au tungstène et au tungstène-halogène soit inférieur à 10^{-4} . Le double monochromateur est le seul instrument qui présente la sélectivité nécessaire et il est recommandé pour les mesures de risques impliquant des radiations UV et visibles. Il est reconnu que les systèmes à monochromateur introduisent des limites de maniabilité et de rapidité. L'usage d'un monochromateur simple dans le domaine de l'UV et du visible du spectre, ne devrait être utilisé que lorsque des résultats comparables à ceux obtenus par double monochromateur sont acquis. Par exemple, un monochromateur simple peut être suffisant pour des lampes telles que les LED, connues pour présenter une bande d'émission spectrale très limitée.

B.1.2 Détecteur à bande large

Les détecteurs modernes à bande large, quand ils sont étalonnés pour le spectre d'action approprié, et à condition de mettre en oeuvre les précautions appropriées, peuvent être utilisés. Quand ils doivent travailler sur des sources pulsées à faible intervalle de répétition, ou lorsque que les sources sont de faible intensité, leur usage est commode. Les détecteurs de risques à bande large tendent normalement à se rapprocher du spectre de pondération par l'usage de filtres. L'adéquation n'est jamais exacte et laisse la porte ouverte à certaines erreurs. Les défauts du spectre contribuent à une incertitude uniquement dans la mesure où le spectre des sources ou la réponse spectrale du détecteur est inconnue.

Si le spectre de la source est inconnu, alors la zone où le pourcentage de déviation est le plus large entre le détecteur et le spectre d'action doit être acceptée comme l'incertitude. La détermination de cette incertitude doit inclure les considérations du domaine spectral où le spectre de l'action est égal à zéro.

Quand la réponse du détecteur et le spectre de la source sont connus, les calculs directs peuvent générer un facteur de correction. Utilisé avec un facteur de correction approprié, le détecteur à large bande produit une méthode validée pour les mesures dans la présente norme. Il incombe au radiométriste de montrer que le facteur de correction est valable pour chaque cas spécifique. Les variations qui amènent ou pourraient amener à modifier un spectre nécessitent la redétermination du facteur de correction

Note: La combinaison d'un radiomètre large bande pondéré et d'un double monochromateur peut améliorer la procédure de mesure dans de nombreuses circonstances. Une analyse des variations spatiales, temporelles, et d'échantillon à échantillon, pour un type de source peut être rapidement obtenue par l'usage d'un détecteur à filtre.

B.2 Limitations de l'instrument

B.2.1 Eclairage énergétique équivalent au bruit de fond

Tous les instruments ont une limite en dessous de laquelle les mesures ne sont pas possibles. Pour l'analyse de risques, il est inapproprié de mentionner un signal 0 quand le seul fait connu est que la mesure est en dessous des limites de l'instrument. L'instrument utilisé pour tester le risque doit être caractérisé afin de déterminer le ou les niveaux des limites de la mesure. Quand zéro est lu sur l'instrument, ou en dessous des limites de mesures, la limite de mesure correspondante doit être signalée. Si la valeur pour la limite de l'instrument est à un niveau significatif capable d'affecter le classement des sources, il est alors clair qu'un instrument de qualité meilleure est nécessaire.

ANNEX B (informative)

MEASUREMENT METHOD

B.1 Instrumentation

B.1.1 Double monochromator: Recommended instrument

The measurement of a source for the purpose of hazard classification requires accuracy during calibration and testing. The detector's broad spectral response and high spectral resolution required to provide accurate weighting leads to stringent requirements for out-of-band stray light rejection. Calibration sources provide wide spectral output that must be rejected out of the pass-band. The ratio of out-of-band energy to pass-band energy at 270 nm for tungsten or tungsten-halogen calibration lamps should be smaller than 10^{-4} . The double monochromator is the only instrument that provides the needed selectivity, and it is recommended for hazard measurements involving UV and visible radiation. It is recognized that monochromator systems introduce limitations in convenience and speed. Use of a single monochromator in the UV or visible spectrum should be used only if comparable results to that from a double monochromator can be obtained. For example, a single monochromator may be sufficient for lamps such as LEDs known to have a very limited spectral emission band.

B.1.2 Broadband detectors

Modern broadband detectors, when calibrated against the appropriate action spectrum, and with appropriate precaution, may be used. When faced with short duration pulsed or low intensity sources, they are convenient to use. Broadband hazard sensors normally attempt to match the weighting spectra by the use of filters. The matching is never exact and leads to some amount of error. Spectral error contributes to uncertainty only to the extent that the source's spectrum or the detector's spectral response is unknown.

If the source spectrum is unknown, then the point of largest percentage deviation between the detector and the action spectrum must be assumed as the uncertainty. This uncertainty determination shall include consideration of the spectral region where the action spectrum is zero.

When both the detector's response and source's spectrum are known, straightforward calculations can generate a correction factor. Used with an appropriate correction factor, the broadband detector provides a valid method for measurements under this standard. It is incumbent upon the radiometrist to show that the correction factor is valid in each specific case. Variations that lead, or may lead, to changes in spectra require re-determination of the correction factor.

Note: The combination of weighted broadband radiometers and a double monochromator can improve the measurement process in many instances. A survey of spatial, temporal, or item-to-item variations of a source type can be rapidly accomplished using the filtered detector.

B.2 Instrument limitations

B.2.1 Noise equivalent irradiance

All instruments have a limit below which measurements are not possible. For hazard analysis, it is improper to report zero signal when the only known fact is that the measurement is below the instrument's limit. The instrument used for hazard testing must be characterized to determine the measurement limit level or levels. When the instrument reading is zero, or below the measurement limit, the corresponding measurement limit will be reported. If the value for the instrument limit is of significant level to affect the classification of sources then it is clear that a higher quality instrument is required.

Note: La limite de mesure d'un spectroradiomètre est actuellement dictée par la limite de bruit de ce détecteur. La limite de bruit du détecteur peut être considérée comme la variation RMS du signal dans le noir de ce détecteur. La limite de bruit du détecteur est multipliée par le spectre d'étalonnage pour le système afin de procurer un spectre aux mêmes dimensions que les mesures, appelé alors « valeurs équivalentes au bruit, NEI ». La mesure spectrale retenue est la valeur la plus élevée pour chaque longueur d'onde du spectre mesuré et le NEI.

B.2.2 Réponse spectrale de l'appareil

La forme de la réponse spectrale (fonction fente) et le rapport de l'intervalle de mesure par rapport à la largeur de bande détermineront si le système est capable de mesurer avec précision les signaux, à faible largeur spectrale, par exemple les raies d'émission atomique. (Voir Kostkowski, 1997, chapitre 5.)

Un monochromateur possédant une réponse spectrale triangulaire parfaite (fonction fente) utilisé dans un système qui a un intervalle d'analyse qui divise régulièrement en largeur de bande, mesurera avec précision tous les signaux quelles que soient leurs formes spectrales. (Voir CIE 63-1984, chapitre 1.8.4.2.1., ou Kostkowski, 1997, chapitre 5.9.) Les déviations des données précédentes peuvent entraîner des erreurs dans les énergies mesurées. La réponse spectrale du système doit être évaluée par une mesure à haute résolution spectrale d'une source émettant des raies fines. Le spectre mesuré doit être symétrique par rapport aux longueurs d'ondes de la source pour représenter la réponse du système quand on le détermine à une seule longueur d'onde. La capacité du système à mesurer avec précision l'énergie fournie par une source à bande étroite est la précision pour obtenir l'addition des réponses spectrales pour chaque longueur d'onde étudiée. La variation dans le spectre total est l'erreur potentielle sur le signal mesuré et doit être incluse dans l'analyse d'incertitude.

Le résultat des évaluations de risque sera influencé par les caractéristiques de l'instrument. La largeur de bande du monochromateur modifiera le résultat pondéré de tout spectre présentant des variations de niveaux. Tous les instruments à largeur de bande finie présentent un signal à une longueur d'onde erronée, entraînant des erreurs sur la somme pondérée.

Le tableau B.1 ci-dessous montre la liste des largeurs de bande recommandées pour 2% d'incertitude de la somme pondéré.

Tableau B.1 Largeurs de bande recommandées.

Domaine (nm)	Largeur de bande (FWHM)
$200 \leq \lambda \leq 400$	≤ 4 nm
$400 \leq \lambda \leq 600$	≤ 8 nm
$600 \leq \lambda \leq 1400$	≤ 20 nm
$1400 \leq \lambda$	Pas de limitation de largeur de bande

Une analyse plus complète qui prend le spectre de la source en compte peut être utilisée afin de minimiser la contrainte sur les longueurs d'ondes. Les résultats de l'analyse doivent être inclus dans les incertitudes établies de la mesure.

Note: Des systèmes qui intègrent constamment le signal pendant le balayage spectral ne présenteront pas d'erreur dans la puissance totale mesurée pour la forme de réponse spectrale ou pour le rapport de la largeur de bande aux intervalles de mesure. Des larges bandes apporteront également des erreurs dans les résultats pondérés avec ce type d'instruments.

Note: The measurement limit of a spectroradiometer is usually dominated by the noise limit of the detector. The noise limit of the detector can be taken as the RMS variation in the detector dark signal. The detector's noise limit is multiplied by the calibration spectrum for the system to give a spectrum with the same dimensions as the measurements, called the "noise equivalent input", NEI. The reported spectral measurement is the higher value at each wavelength of the measured spectrum and the NEI.

B.2.2 Instrument spectral response

The shape of the spectral response (slit function) and the ratio of the measurement interval to the bandwidth will determine whether the system is able to accurately measure signals with narrow spectral extent, for example atomic emission lines. (See Kostkowski, 1997, chapter 5.)

A monochromator with perfect triangular spectral response (slit function) used in a system that has a reporting interval that evenly divides into the bandwidth will accurately measure all signals regardless of their spectral shape. (See CIE 63 - 1984, clause 1.8.4.2.1, or Kostkowski, 1997, clause 5.9.) Deviations from this may lead to errors in measured energy. The spectral response of the system must be determined by high spectral resolution measurement of a narrow wavelength source. The measured spectrum must be symmetrical about the source wavelength to represent the system's response when set to the single wavelength. The system's ability to accurately measure the energy from a narrow band signal is the accuracy of obtaining the sum of the spectral responses at each reported wavelength. The variation across the summed spectrum is the potential error in total measured signal and must be included in the uncertainty analysis.

The result of hazard evaluations will be influenced by the instrument's characteristics. The bandwidth of the monochromator will change the weighted results of any spectrum with varying levels. All finite bandwidth instruments report signal at the wrong wavelength, leading to errors in the weighted sum.

Table B.1, below, lists the recommended bandwidth for 2% upper bound of uncertainty in weighted sums.

Table B.1 Recommended bandwidths

Range (nm)	Bandwidth (FWHM)
$200 \leq \lambda \leq 400$	≤ 4 nm
$400 \leq \lambda \leq 600$	≤ 8 nm
$600 \leq \lambda \leq 1400$	≤ 20 nm
$1400 \leq \lambda$	no bandwidth limitation

A more complete analysis that takes the source spectrum into account may be used to relax the suggested bandwidth accuracy. The results of the analysis must be included in the stated uncertainty of the measurement.

Note: Systems that constantly integrate the signal during the spectral scan will not experience errors in total measured power from spectral response shape or from the ratio of bandwidth to reporting interval. Large bandwidths will still lead to errors in weighted results with this type of instrument.

B.2.3 Précision sur les longueurs d'ondes

La précision sur les longueurs d'ondes de l'instrument utilisé pour déterminer la forme spectrale de la source a une grande importance sur les valeurs pondérées. Par exemple, la fonction de pondération du risque UV, $S_{UV}(\lambda)$, varie dans des proportions très importantes. Par exemple, 250% sur 3 nm à 300 nm. Si une limite d'erreur raisonnable est désirée, alors l'énergie mesurée doit être considérée à la longueur d'onde correcte, et ainsi être pondérée de manière appropriée.

Le tableau B.2 est un exemple qui montre les modifications de résultat pondéré pour un intervalle de mesure rapporté, quand l'intervalle est modifié sur 0,1 nm. Les valeurs mesurées sont calculées en supposant que le spectroradiomètre, avec une réponse triangulaire, a des intervalles de réponse de 1 nm et 2 nm de largeur de bande. La somme des valeurs mesurées est égale alors que la longueur d'onde est déplacée en raison des principes décrits dans le paragraphe B.2.2. La mesure pondérée change de 2,5% alors que la longueur d'onde a changé de 0,1 nm. Des erreurs de cette dimension peuvent survenir si la longueur d'onde de l'instrument a une erreur de l'ordre de 0,1 nm.

Tableau B.2 Exemple d'erreur sur la valeur pondérée pour une erreur de longueur d'onde.

nm	$S_{UV}(\lambda)$	305 nm		305,1 nm		Rapport des sommes
		Mesuré	Pondéré	Mesuré	Pondéré	
304	0,08485	0,25000	0,02121	0,22500	0,01909	
305	0,06000	0,50000	0,03000	0,47500	0,02850	
306	0,04540	0,25000	0,01135	0,27500	0,01249	
307	0,03436	0,00000	0,00000	0,02500	0,00086	
sommes		1,0000		1,0000		≥ 100%
sommes			0,06256		0,06094	≥ 97,4%

$S_{UV}(\lambda)$ est la fonction de pondération du risque UV.

Il convient que la précision de la longueur d'onde d'un monochromateur utilisé pour l'évaluation de risque, soit suffisante pour fournir des résultats pondérés avec une erreur due à une imprécision de longueur d'onde inférieure à trois pour cent (3%). La précision nécessaire dépend ainsi de la région du spectre et de la fonction de pondération utilisée. Le tableau B.3 résume la précision recommandée qui entraînera une erreur de l'ordre de 3%.

Tableau B.3 Précision de longueur d'onde recommandée.

Domaine (nm)	Précision de la longueur d'onde (nm)
$200 \leq \lambda \leq 300$	0,2 nm
$300 \leq \lambda \leq 325$	0,1 nm
$325 \leq \lambda \leq 600$	0,2 nm
$600 \leq \lambda \leq 1400$	2 nm

Une analyse plus complète, qui prend le spectre de la source en compte, peut être utilisée afin de minimiser la contrainte sur les longueurs d'ondes. Les résultats de l'analyse doivent être inclus dans l'évaluation de l'incertitude de la mesure.

B.2.4 Flux énergétique parasite

L'étalonnage absolu des spectroradiomètres nécessite l'usage de sources avec une émission spectrale large et une haute énergie. Si l'énergie spectrale est insuffisante dans une longueur d'onde, l'énergie supplémentaire d'une autre partie du spectre sera incluse dans l'étalonnage. La conséquence de ce type d'erreur est de sous-estimer le résultat de la mesure du spectroradiomètre et d'entraîner une sous-évaluation du risque potentiel. Des rapports typiques entre l'énergie totale et le signal qui passe dans le monochromateur sont de l'ordre de 10^4 . Pour obtenir 1% de précision, le rejet des radiations hors de la longueur d'onde doit être de l'ordre de 10^6 . (Voir CIE 63-1984).

B.2.3 Wavelength accuracy

The wavelength accuracy of the instrument used to determine the spectral shape of a source has a great impact on the weighted values. For example, the UV hazard weighting function, $S_{UV}(\lambda)$, changes at an extreme rate, i.e. 250% over 3 nm at 300 nm. If a reasonable limit of error is desired then the measured energy must be assigned to its proper wavelength, so that it is appropriately weighted.

Table B.2 is an example showing the change in weighted results from a measurement reporting interval when the interval is moved by 0,1 nm. The measured values are calculated by assuming a spectroradiometer with a triangular response, 2 nm bandwidth, and 1 nm reporting interval. The sum of the measured values is equal as the line is shifted because of the principles described in clause B.2.2. The weighted measurement changes by 2 ½ % for a wavelength change of 0,1 nm. Errors of this magnitude may occur if the wavelength of the instrument is in error by 0,1 nm.

Table B.2 Example of error in weighted value for wavelength error

nm	$S_{UV}(\lambda)$	305 nm		305,1 nm		Ratio of sums
		Measured	Weighted	Measured	Weighted	
304	0,08485	0,25000	0,02121	0,22500	0,01909	
305	0,06000	0,50000	0,03000	0,47500	0,02850	
306	0,04540	0,25000	0,01135	0,27500	0,01249	
307	0,03436	0,00000	0,00000	0,02500	0,00086	
Sums		1,0000		1,0000		≥ 100%
Sums			0,06256		0,06094	≥ 97,4%

$S_{UV}(\lambda)$ is the UV hazard weighting function.

The wavelength accuracy of the monochromator used for hazard testing should be sufficient to provide weighted results with an error arising from wavelength inaccuracy less than three percent (3%). The needed accuracy therefore depends on the region of the spectrum and the weighting function used. Table B.3 summarizes the suggested accuracy which will bound the error to ~ 3 %.

Table B.3 Recommended wavelength accuracy

Range (nm)	Wavelength accuracy
$200 \leq \lambda \leq 300$	0,2 nm
$300 \leq \lambda \leq 325$	0,1 nm
$325 \leq \lambda \leq 600$	0,2 nm
$600 \leq \lambda \leq 1400$	2 nm

A more complete analysis that takes the source spectrum into account may be used to relax the suggested wavelength accuracy. The results of analysis must be included in the stated uncertainty of the measurement.

B.2.4 Stray radiant power

The absolute calibration of spectroradiometers requires the use of sources with broad spectral output and high energy. If the spectral rejection is insufficient, additional energy from other parts of the spectrum will be included in the calibration. The result of this type of error is to under-calibrate the spectroradiometer and leads to lower readings of the potential hazard. Typical ratios between the total energy and the signal passed by the monochromator are on the order of 10^4 . To obtain 1% accuracy, rejection of out-of-band radiation needs to be on the order of 10^6 . (See CIE 63 - 1984.)

B.2.5 Optiques d'entrée pour les mesures de l'éclairement énergétique spectral. Recommandations

Un certain nombre de problèmes surviennent avec les monochromateurs utilisant une source optique incidente normale. La source étalon et la source de mesure peuvent ne pas avoir la même polarisation ni la même taille entraînant des variations de l'angle d'illumination. De plus, les sources mesurées peuvent sous-tendre de petits ou de larges angles. Ces différences peuvent entraîner des mesures erronées. L'utilisation d'une sphère d'intégration comme appareillage d'entrée dans le monochromateur représente la méthode recommandée pour les mesures d'éclairement énergétiques, car la réflexion aléatoire du revêtement de la sphère dépolairise la lumière incidente et un montage adapté devra s'approcher le plus possible de la réponse cosinus et, de plus, les multiples réflexions dans la sphère d'intégration donnent une bonne répartition de la lumière incidente sur radiomètre. Plus de difficultés peuvent survenir dans la réponse cosinus des détecteurs UV.

Un diffuseur correctement calculé peut également être utilisé comme optique d'entrée pour les monochromateurs ou les radiomètres.

B.2.6 Linéarité

Une lampe unique ou un appareillage en test sont présumés avoir une valeur radiométrique différente de la source utilisée pour étalonner le système. Pour que l'étalonnage soit valable, la linéarité du système doit être connue et les tests de mesure doivent être effectués dans le domaine de cette linéarité. La non-linéarité du système peut être corrigée en utilisant une fonction d'étalonnage afin d'amener le système à la linéarité. Noter que cet ajustement doit être appliqué à l'étalonnage et aux mesures.

B.3 Sources pour l'étalonnage

Les sources recommandées pour l'étalonnage sont des lampes à décharge dans le deutérium, pour la région UV, et des lampes étalons au tungstène, ou tungstène-halogène, pour les longueurs d'ondes UV les plus élevées, pour les régions du visible et du proche infrarouge du spectre. La lampe à deutérium peut varier dans son niveau d'émission alors qu'elle maintient la forme de son spectre. Dès lors, l'étalonnage du système dans la région comprise entre 200 nm et 350 nm utilisant une lampe à deutérium, doit être ajustée par comparaison au niveau d'étalonnage d'une lampe tungstène (ou tungstène-halogène) entre 250 nm et 350 nm. La longueur d'onde en dessous de laquelle la forme de la courbe d'émission du deutérium est utilisée doit être aussi courte que possible, prenant en compte le bruit de fond dans l'étalonnage de la lampe tungstène (ou tungstène-halogène).

B.2.5 Input optics for spectral irradiance measurements: Recommendation

A number of issues occur with monochromators using normal input optics. The calibration source and measurement source may not have the same polarization nor will they have the same source size leading to input angle variations. Furthermore the sources measured will subtend both small and large angles. These differences can lead to erroneous measurements. Using an integrating sphere as the input device to the monochromator is the recommended method for irradiance measurements because the random reflectance of the coating depolarizes the incoming light and proper design should match as closely as possible a cosine response and, further, multiple reflections within the integrating sphere consistently fill the radiometer's input. More difficulties may occur with the cosine response of UV-detectors.

A properly designed diffuser may also suffice as the input device to the monochromator or radiometer.

B.2.6 Linearity

The individual lamp or device under test must be assumed to have a different radiometric magnitude than the source used to calibrate the testing system. For the calibration to be useful, the linearity of the system must be known, and the test measurements must be performed within the range that is linear. Non-linearity within the system may be corrected using a calibration function to bring the system to linearity. Note that this adjustment must be applied to the calibration and the measurements.

B.3 Calibration sources

The recommended sources for calibration are the deuterium discharge lamp, for the UV region, and the calibration-grade tungsten or tungsten-halogen lamp for the higher wavelength UV, visible and near infrared region of the spectrum. The deuterium lamp may vary in output level while maintaining its spectral shape. Therefore the calibration of the system in the 200 nm to 350 nm region using the deuterium lamp shall be adjusted by comparison to the calibration level from the tungsten (or tungsten-halogen) lamp between 250 nm and 350 nm. The wavelength below which the deuterium lamp is used shall be at as short a wavelength as practical considering the noise in the tungsten (or tungsten-halogen) lamp calibration.

ANNEXE C
(informative)

ANALYSE DES INCERTITUDES

L'analyse des incertitudes nécessite que toutes les origines des incertitudes soient évaluées quantitativement. La première étape de l'analyse des incertitudes consiste à évaluer les diverses sources d'incertitudes. Ci-dessous, on trouve une liste qui peut constituer le début de l'évaluation de l'incertitude pour les mesures utilisées dans le classement des lampes et des systèmes de lampes. Pour de plus amples détails, voir la CIE 53:1982, *Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers*.

- Instruments
 - Longueur d'onde
 - Largeur de bandes
 - Réponses aux spectres variables
 - Linéarité
 - Stabilité
 - Lumière parasite:
 - hors du trajet optique
 - hors de la bande spectrale
- Etalonnage
 - Etalon (incertitude acceptée)
 - Distance
 - Alignement
 - Alimentation électrique
- Mesure
 - Alignement
 - Distance
 - Source à tester:
 - Stabilité
 - Température
 - Taille
 - Alimentation électrique

Les facteurs d'incertitude individuels doivent être trouvés ou estimés au préalable. Chaque facteur doit alors être reporté tout au long de la mesure afin d'évaluer son impact sur les valeurs pondérées utilisées dans la classification du risque. Comme cela peut être constaté au paragraphe 5.3.3, le pourcentage d'impact sur les valeurs pondérées peut être différent du pourcentage d'incertitude du facteur individuel. Cela est observé lors du changement d'émission d'une lampe à incandescence en fonction du courant d'alimentation. Les variations dans le courant modifient l'énergie dissipée dans la lampe et, par conséquent, modifient la résistance de la lampe et sa température. Une modification du courant ne sera pas suivie linéairement par un changement de l'émission totale de la lampe. En raison d'un changement de température, l'émission d'une longueur d'onde donnée peut ne pas suivre la modification de l'émission totale. Bien que les modifications ne soient pas linéaires, de petites variations peuvent être considérées comme linéaires. La procédure normale pour appliquer l'incertitude consiste à trouver la modification de la valeur finale en fonction des modifications des facteurs initiaux. Ce rapport de l'impact consécutif aux variations de l'alimentation est appelé sensibilité. Pour une lampe à incandescence par exemple, des modifications de courant de lampe d'un faible pourcentage entraînent une modification dans l'émission d'un certain pourcentage dans la longueur d'onde concernée.

Tableau C.1 Exemple de propagation d'incertitude.

	Courant de lampe	Signal à 300 nm
Installation 1	8,2000	8451
Installation 2	8,2011	8461
Modification	0,0134%	0,118%

ANNEX C (informative)

UNCERTAINTY ANALYSIS

The analysis of uncertainty requires that all sources of uncertainty be quantitatively evaluated. The first step in uncertainty analysis is identifying the various uncertainty sources. Below is a list that can be the start of the evaluation of uncertainty for measurements used in classifying lamps and lamp systems. See further details in CIE 53 – 1982 Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers.

- Instrument
 - Wavelength
 - Bandwidth
 - Response to varying spectra
 - Linearity
 - Stability
 - Stray light
 - Out-of-path
 - Out-of-band
- Calibration
 - Standards (assigned uncertainty)
 - Distance
 - Alignment
 - Electrical operation
- Measurement
 - Alignment
 - Distance
 - Source under test
 - Stability
 - Temperature
 - Size
 - Electrical operation

The individual uncertainty factors must be found or estimated. Each factor must then be propagated through the measurement to find the impact on the weighted values used in hazard classification. As seen in clause 5.3.3 above, the percent impact on the weighted values may be different from the percent uncertainty of the individual factor. This is seen in the change in output from an incandescent lamp as a function of the input current. The change in current changes the energy dissipated in the lamp and therefore changes the lamp's resistance and temperature. A change in current will not be followed linearly by a change in lamp's total output. Because of the change in temperature, the output at a single wavelength may not follow the change in total output. Though the changes are not linear, for small changes they can be considered linear. The normal way to propagate the uncertainty is to find the amount of the final value's change to the initial factors change. This ratio of the impact to the input change is called sensitivity. For the incandescent lamp example, a change in the lamp's current by a small percent leads to a change in the output at the wavelength of interest as shown.

Table C.1 Example of uncertainty propagation.

	Lamp Current	Signal at 300 nm
Setting 1	8,2000	8451
Setting 2	8,2011	8461
Change	0,0134%	0,118%

La sensibilité est $0,118\% / 0,0134\% = 9$.

Une incertitude de 0,1 % dans le courant d'alimentation entraînera une incertitude de 0,9% dans l'émission à 300 nm.

Chacune de ces incertitudes doit être prise en compte jusqu'à la valeur finale et exprimée en pourcentage. La liste complète des incertitudes est combinée en « quadrature » et cette incertitude combinée doit être exprimée en pourcentage et rapportée à la valeur mesurée.

Sensitivity is $0,118\% / 0,0134\% = 9$.

An uncertainty of 0,1% in current will be an uncertainty of 0,9% in output at 300 nm.

Each of the uncertainties must be carried through to the final value and expressed as a percentage. The full sets of uncertainties are combined in quadrature and this combined uncertainty expressed as a percentage is then reported with the measured value.

ANNEXE D
(informative)

REFERENCES GENERALES

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). *TLVs and BEIs; Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents; Biological Exposure Indices*. Cincinnati, ACGIH.

ANSI/IESNA (American National Standard Institute / Illuminating Engineering Society of North America) RP27.1-96. *Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – General Requirements*. New York, IESNA 1996.

ANSI/IESNA (American National Standard Institute / Illuminating Engineering Society of North America) RP27.2-00. *Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – Measurement Systems – Measurement Techniques*. New York, IESNA 2000.

ANSI/IESNA (American National Standard Institute / Illuminating Engineering Society of North America) RP27.3-96. *Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – Risk Group Classification & Labeling*. New York, IESNA 1996.

CIE 134/3 – 1999 *Recommendation on Photobiological Safety of Lamps. A review of standards*. In CIE Collection in Photobiology and Photochemistry (1999).

CIE x016-1998 *Measurements of Optical Radiation Hazards*.

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Guidelines on UV radiation exposure limits. *Health Physics* **71**, 978, (1996).

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Guidelines on limits of exposure to broadband incoherent optical radiation (0.38 to 3 µm). *Health Physics* **73**, 539-554, (1997).

IEC Technical Report 60825-9 *Safety of laser products, Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation*, 1999.

IRPA/INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee). Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent optical radiation). *Health Physics* **49**, 331-340, (1985) and **56**, 971-972, (1989).

KOSTKOWSKI, H.J. *Reliable Spectroradiometry*. Spectroradiometry Consulting, La Plata, MD (1997).

SLINEY, D.H. and WOLBARSH, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. Plenum, New York (1980).

Les publications CIE peuvent être obtenues auprès des Comités Nationaux de la plupart des pays membres de la CIE. Les acheteurs des autres pays peuvent les obtenir auprès du Bureau Central de la CIE, Kegelgasse 27, A-1030, Vienne, Autriche.

Bureau Central de la CIE
Kegelgasse 27
A-1030 Vienne
Autriche
Tel.: +43 1 714 3187 0
Fax: +43 1 714 3187 18
e-mail: ciecb@ping.at
WWW: <http://www.cie.co.at/>

ANNEX D
(informative)

GENERAL REFERENCES

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). *TLVs and BEIs; Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents; Biological Exposure Indices*. Cincinnati, ACGIH.

ANSI/IESNA (American National Standard Institute / Illuminating Engineering Society of North America) RP27.1-96. *Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – General Requirements*. New York, IESNA 1996.

ANSI/IESNA (American National Standard Institute / Illuminating Engineering Society of North America) RP27.2-00. *Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – Measurement Systems – Measurement Techniques*. New York, IESNA 2000.

ANSI/IESNA (American National Standard Institute / Illuminating Engineering Society of North America) RP27.3-96. *Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – Risk Group Classification & Labeling*. New York, IESNA 1996.

CIE 134/3 – 1999 *Recommendation on Photobiological Safety of Lamps. A review of standards*. In CIE Collection in Photobiology and Photochemistry (1999).

CIE x016-1998 *Measurements of Optical Radiation Hazards*.

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Guidelines on UV radiation exposure limits. *Health Physics* **71**, 978, (1996).

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Guidelines on limits of exposure to broadband incoherent optical radiation (0.38 to 3 µm). *Health Physics* **73**, 539-554, (1997).

IEC Technical Report 60825-9 *Safety of laser products, Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation*, 1999.

IRPA/INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee). Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent optical radiation). *Health Physics* **49**, 331-340, (1985) and **56**, 971-972, (1989).

KOSTKOWSKI, H.J. *Reliable Spectroradiometry*. Spectroradiometry Consulting, La Plata, MD (1997).

SLINEY, D.H. and WOLBARSH, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. Plenum, New York (1980).

Copies of CIE Publications are available from the National Committees of most CIE member countries. Purchasers in other countries may obtain them from the CIE Central Bureau, Kegelgasse 27, A-1030 Vienna, Austria.

CIE Central Bureau
Kegelgasse 27
A-1030 Vienna
Austria
Tel.: +43 1 714 3187 0
Fax: +43 1 714 3187 18
e-mail: ciecb@ping.at
WWW: <http://www.cie.co.at/>

ISBN 2-8318-8737-2



9 782831 887371

ICS 29.140
