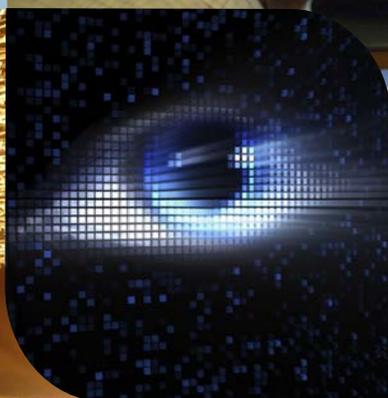
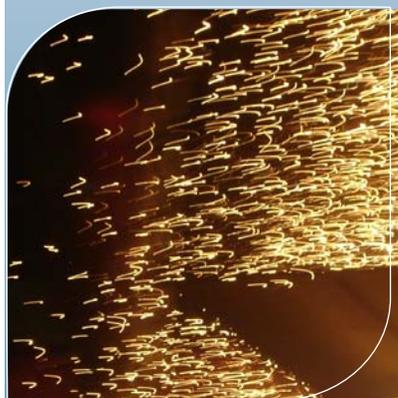


Guide à caractère non contraignant pour la mise en œuvre de la directive 2006/25/CE sur les rayonnements optiques artificiels



L'Europe sociale



Commission européenne

La présente publication a été soutenue financièrement dans le cadre du programme de l'UE pour l'emploi et la solidarité sociale Progress (2007-2013).

Ce programme est mis en œuvre par la Commission européenne. Il a été établi pour appuyer financièrement la poursuite des objectifs de l'Union européenne dans les domaines de l'emploi, des affaires sociales et de l'égalité des chances, et contribuer ainsi à la réalisation des objectifs de la stratégie Europe 2020 dans ces domaines.

Le programme, qui s'étale sur sept ans, s'adresse à toutes les parties prenantes susceptibles de contribuer à façonner l'évolution d'une législation et de politiques sociales et de l'emploi appropriées et efficaces dans l'ensemble de l'EU-27, des pays de l'AELE-EEE ainsi que des pays candidats et précandidats à l'adhésion à l'UE.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter <http://ec.europa.eu/progress>

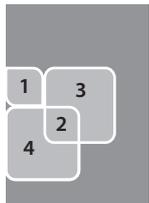
Guide à caractère non contraignant pour la mise en œuvre de la directive 2006/25/CE sur les rayonnements optiques artificiels

Commission européenne

Direction générale de l'emploi, des affaires sociales et de l'inclusion
Unité B.3

Manuscrit terminé en juin 2010

Ni la Commission européenne ni aucune personne agissant au nom de la Commission ne sont responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans cette publication.



© photos 1, 3, 4: Union européenne
photo 2: Istock

Pour les photos non protégées par les droits d'auteur de l'Union européenne, il convient de demander directement l'autorisation aux détenteurs desdits droits d'auteur pour toute utilisation ou reproduction.

Europe Direct est un service destiné
à vous aider à trouver des réponses
aux questions que vous vous posez
sur l'Union européenne.

Un numéro unique gratuit (*):
00 800 6 7 8 9 10 11

(* Certains opérateurs de téléphonie mobile ne permettent pas l'accès
aux numéros 00 800 ou peuvent facturer ces appels.

De nombreuses autres informations sur l'Union européenne sont disponibles sur l'internet
via le serveur Europa (<http://europa.eu>).

Une fiche catalographique ainsi qu'un résumé figurent à la fin de l'ouvrage.

Luxembourg: Office des publications de l'Union européenne, 2011

ISBN 978-92-79-16047-9

doi:10.2767/74345

© Union européenne, 2011

Reproduction autorisée, moyennant mention de la source

Printed in Luxembourg

IMPRIMÉ SUR PAPIER BLANCHI SANS CHLORE ÉLÉMENTAIRE (ECF)

Table des matières

1.	Introduction.....	7
1.1.	Comment utiliser ce guide.....	8
1.2.	Correspondances avec la directive 2006/25/CE.....	9
1.3.	Champ d'application du guide.....	10
1.4.	Réglementations en vigueur et informations supplémentaires.....	10
1.5.	Organismes de conseil officiels et non officiels.....	10
2.	Sources artificielles de rayonnements optiques.....	11
2.1.	Sources de rayonnements incohérents.....	11
2.1.1.	Types d'activités professionnelles.....	11
2.1.2.	Applications.....	12
2.2.	Sources de rayonnements laser.....	13
2.3.	Sources à risque d'exposition négligeable.....	14
3.	Exposition aux rayonnements optiques: incidences sur la santé.....	16
4.	Prescriptions de la directive relative aux rayonnements optiques artificiels.....	17
4.1.	Article 4: détermination de l'exposition aux rayonnements et évaluation des risques ..	17
4.2.	Article 5: dispositions visant à éviter ou à réduire les risques.....	18
4.3.	Article 6: information et formation des travailleurs.....	18
4.4.	Article 7: consultation et participation des travailleurs.....	19
4.5.	Article 8: surveillance de la santé.....	19
4.6.	Résumé.....	19
5.	Utilisation des valeurs limites d'exposition.....	20
5.1.	Rayonnements optiques laser.....	20
5.2.	Rayonnements optiques incohérents.....	22
5.3.	Références.....	24
6.	Évaluation des risques conformément à la directive.....	25
6.1.	Étape 1. Identification des risques et des personnes à risque.....	25
6.2.	Étape 2. Évaluation des risques et de leur importance.....	26
6.3.	Étape 3. Élaboration de mesures préventives.....	26
6.4.	Étape 4. Mise en place des mesures.....	27
6.5.	Étape 5. Suivi et réexamen.....	27
6.6.	Références.....	27
7.	Mesure des rayonnements optiques.....	28
7.1.	Prescriptions de la directive.....	28
7.2.	Consultation de services spécialisés.....	28
8.	Utilisation des informations fournies par les fabricants.....	29
8.1.	Classification en matière de sécurité.....	29
8.1.1.	Classification des lasers.....	29
8.1.1.1.	Classe 1.....	29
8.1.1.2.	Classe 1M.....	30
8.1.1.3.	Classe 2.....	30
8.1.1.4.	Classe 2M.....	30
8.1.1.5.	Classe 3R.....	30
8.1.1.6.	Classe 3B.....	30

8.1.1.7. Classe 4	31
8.1.2. Classification des sources de rayonnements incohérents	32
8.1.2.1. Catégorie de sources de rayonnement exemptées	32
8.1.2.2. Catégorie de risque 1 — risque minime	32
8.1.2.3. Catégorie de risque 2 — risque modéré	33
8.1.2.4. Catégorie de risque 3 — risque élevé.....	33
8.1.3. Classification des machines.....	33
8.2. Informations relatives aux distances et valeurs utilisées pour l'évaluation des risques ..	34
8.2.1. Lasers — Distance nominale de risque oculaire	34
8.2.2. Source large bande — Distance et valeur de risque	34
8.3. Informations supplémentaires	35
9. Mesures préventives.....	36
9.1. Classement des mesures préventives	36
9.2. Élimination des risques.....	36
9.3. Remplacement par un procédé ou équipement moins dangereux	37
9.4. Contrôles techniques.....	37
9.4.1. Prévention de l'accès	37
9.4.2. Protection en limitant l'exploitation	37
9.4.3. Arrêts d'urgence	37
9.4.4. Verrouillages.....	37
9.4.5. Filtres et fenêtres de visualisation	38
9.4.6. Aides à l'alignement	38
9.5. Mesures administratives.....	38
9.5.1. Réglementations locales	39
9.5.2. Zones sécurisées.....	39
9.5.3. Panneaux et signalisations de sécurité	39
9.5.4. Nominations	40
9.5.5. Formation et consultation	40
9.5.5.1. Formation	40
9.5.5.2. Consultation	41
9.6. Équipements de protection individuelle (EPI).....	42
9.6.1. Protection contre d'autres risques	43
9.6.2. Protection des yeux	43
9.6.3. Protection de la peau.....	44
9.7. Informations complémentaires	44
9.7.1. Normes de base.....	44
9.7.2. Normes selon les types de protection.....	44
9.7.3. Soudage.....	44
9.7.4. Laser	44
9.7.5. Sources de lumière intense	44
10. Gestion des incidents préjudiciables	45
11. Surveillance de la santé.....	46
11.1. Responsabilité de la surveillance de la santé.....	46
11.2. Dossiers.....	46
11.3. Examens médicaux.....	46
11.4. Actions à prendre lorsque l'exposition dépasse les valeurs limites	46
Annexe A. Nature des rayonnements optiques.....	47
Annexe B. Effets biologiques des rayonnements optiques sur l'œil et la peau	48
B.1. L'œil	48
B.2. La peau	48

B.3.	Effets biologiques des différentes longueurs d'onde sur l'œil et la peau.....	49
B.3.1.	Rayonnements ultraviolets: UVC (100-280 nm); UVB (280-315 nm); UVA (315-400 nm).....	49
B.3.2.	Rayonnements visibles.....	50
B.3.3.	IRA.....	50
B.3.4.	IRB.....	51
B.3.5.	IRC.....	51
Annexe C. Quantités et unités des rayonnements optiques artificiels		52
C.1.	Quantités de base	52
C.1.1.	Longueur d'onde.....	52
C.1.2.	Énergie	52
C.1.3.	Autres quantités	52
C.1.4.	Quantités utilisées pour les limites d'exposition	52
C.1.5.	Quantités spectrales et bande large.....	53
C.1.6.	Quantités radiométriques et pondération spectrale	53
C.1.7.	Luminance.....	54
Annexe D. Exemples concrets		55
D.1.	Bureaux.....	55
D.1.1.	Explication de la méthode générale.....	55
D.1.2.	Exemples	60
D.1.3.	Plafonnier à ampoules fluorescentes avec diffuseur.....	60
D.1.4.	Tube fluorescent unique sans diffuseur	61
D.1.5.	Plafonnier de lampes fluorescentes sans diffuseur.....	62
D.1.6.	Écran d'affichage à tube cathodique.....	63
D.1.7.	Écran d'ordinateur portable.....	64
D.1.8.	Projecteur de lumière extérieur à lampe aux halogénures métalliques	65
D.1.9.	Projecteur extérieur avec lampe fluorescente compacte	66
D.1.10.	Désinsectiseur électronique	67
D.1.11.	Spot encastré au plafond	68
D.1.12.	Lampe de bureau	69
D.1.13.	Lampe de bureau «à spectre solaire».....	70
D.1.14.	Photocopieuses.....	71
D.1.15.	Vidéoprojecteur numérique de bureau	72
D.1.16.	Vidéoprojecteur numérique portable	74
D.1.17.	Tableau blanc de conférence interactif numérique	75
D.1.18.	Lampe fluorescente compacte encastrée au plafond	76
D.1.19.	Voyant LED	77
D.1.20.	PDA	78
D.1.21.	Lumière noire UVA	79
D.1.22.	Réverbère avec lampe à halogénures métalliques	80
D.1.23.	Résumé des données des exemples.....	81
D.2.	Spectacles laser	82
D.2.1.	Risques et personnes à risque	82
D.2.2.	Évaluation et classification des risques	82
D.2.3.	Élaboration et mise en place des mesures préventives.....	83
D.2.4.	Surveillance et vérification.....	83
D.2.5.	Conclusion.....	83
D.3.	Équipements médicaux émetteurs de rayonnements optiques	84
D.3.1.	Éclairage de travail	84
D.3.2.	Lampes de diagnostic	85
D.3.3.	Instruments thérapeutiques	86
D.3.4.	Appareils d'examen spécialisés	88

D.4.	Conduite professionnelle	89
D.5.	Équipement militaire	92
D.6.	Appareils surélevés de chauffage à rayonnement au gaz.	93
D.7.	Outillage laser.....	94
D.7.1.	Identification des risques et des personnes à risque	94
D.7.2.	Évaluation et classification des risques	94
D.7.3.	Élaboration des actions préventives	94
D.8.	Traitements à chaud.....	95
D.8.1.	Sidérurgie	95
D.8.2.	Verrerie.....	95
D.8.3.	Informations supplémentaires	96
D.9.	Photographie au flash	96
Annexe E.	Exigences d'autres directives européennes	98
Annexe F.	Législations nationales des États membres transposant la directive 2006/25/CE (jusqu'à la date du 10 décembre 2010) et recommandations	102
Annexe G.	Normes européennes et internationales.....	108
G.1.	Normes européennes	108
G.2.	Recommandations	110
G.3.	Documents ISO, IEC et CIE	110
Annexe H.	Photosensibilité.....	112
H.1.	Qu'est-ce que la photosensibilité?.....	112
H.2.	Les aspects liés ou non au travail.....	112
H.3.	Que devez-vous faire en tant qu'employeur?	112
H.4.	Que faire si votre travail implique une exposition combinée à des sources de rayonnements optiques artificiels et à des substances photosensibilisantes?	113
Annexe I.	Ressources.....	114
I.1.	Internet.....	114
I.2.	Organisations consultatives et/ou statutaires.....	114
I.3.	Normes	115
I.4.	Associations/annuaires internet.....	115
I.5.	Journaux.....	116
I.6.	CD, DVD et autres matériels.....	116
Annexe J.	Glossaire	117
Annexe K.	Bibliographie.....	120
K.1.	Histoire des lasers	120
K.2.	Lasers médicaux	120
K.3.	Sécurité relative aux lasers et aux rayonnements optiques	120
K.4.	Technologie et théorie du laser	120
K.5.	Recommandations et comptes rendus	121
Annexe L.	Directive 2006/25/CE	123

1. Introduction

La directive 2006/25/CE (désignée sous les termes «la directive») régit toutes les sources artificielles de rayonnements optiques. La plupart des prescriptions de cette directive sont similaires à d'autres existantes comme, par exemple, la directive-cadre européenne 89/391/CEE. De ce fait, cette nouvelle directive ne devrait pas alourdir les exigences auxquelles les employeurs se conforment déjà en vertu d'autres directives existantes. Toutefois, étant donné que la directive englobe un vaste domaine, il est nécessaire de préciser les conditions où l'exposition aux rayonnements optiques artificiels présente un danger si faible pour la santé qu'il est inutile d'en évaluer le risque. Ce guide vise à fournir des indications concernant ces risques négligeables, des conseils pour un certain nombre d'autres circonstances spécifiques, présente une méthode d'analyse du risque et suggère, dans certains cas, de faire appel à des services spécialisés.

Nombre d'industries ont adopté certaines règles élaborées concernant des usages spécifiques de rayonnements optiques, référence est faite dans cet ouvrage à ces sources d'information.

Les travailleurs peuvent être exposés à des rayonnements optiques artificiels issus de nombreuses et diverses sources, aussi bien sur le lieu de travail qu'ailleurs. Y compris notamment les sources lumineuses pour l'éclairage d'une zone de travail et pour l'exécution de tâches, les indicateurs lumineux, de nombreux dispositifs d'affichage et autres sources similaires indispensables au bien-être des travailleurs. Il ne serait donc pas raisonnable d'adopter la même démarche que pour les nombreux autres risques, en minimisant automatiquement le danger lié à l'exposition aux rayonnements optiques artificiels, ce qui en soi pourrait contribuer à augmenter d'autres formes de risques ou rendre dangereuses certaines activités sur le lieu de travail. Un exemple serait d'éteindre toutes les lumières dans un bureau, ce qui plongerait le local dans la pénombre.

Une grande variété d'appareils et de dispositifs à rayonnements optiques artificiels sont utilisés dans

les processus de fabrication ainsi que pour la recherche et la communication. L'émission de rayonnements optiques peut également être fortuite, comme dans le cas d'un matériau chaud qui irradie ce type d'énergie optique.

Un certain nombre d'usages de rayonnements optiques artificiels exigent une exposition directe des travailleurs à des degrés pouvant excéder les limites prescrites par la directive, notamment dans le domaine du spectacle et de la médecine. Ces usages doivent absolument faire l'objet d'une évaluation afin de s'assurer que les limites d'exposition sont respectées.

La directive divise les rayonnements optiques artificiels en deux groupes, à savoir les rayonnements laser et les rayonnements incohérents. Dans cet ouvrage, distinction entre ces deux types de rayonnements n'est faite que si elle s'avère effectivement nécessaire. Traditionnellement, on considère que le rayonnement d'un laser consiste en un faisceau d'une seule longueur d'onde. Un travailleur peut très bien se trouver tout près du faisceau sans en souffrir aucunement sur le plan de la santé. Par contre, l'exposition directe au faisceau peut immédiatement excéder les limites prescrites. En ce qui concerne les rayonnements incohérents, l'énergie optique émise se présente généralement moins souvent sous la forme d'un faisceau bien collimaté, et le degré d'exposition augmente graduellement suivant la proximité de la source d'émission. On pourrait dire qu'avec un rayon laser, les risques d'exposition sont faibles mais les incidences peuvent être graves. Pour ce qui est des rayonnements incohérents, les risques d'exposition peuvent être élevés mais les effets sont moins graves. Cette distinction traditionnellement faite est moins nette pour ce qui est de certaines technologies à rayonnements optiques actuellement en pleine évolution.

La directive a été adoptée dans le cadre de l'article 137 du traité ayant établi l'Union européenne. Cet article n'interdit en aucun cas aux États membres de maintenir ou d'introduire des mesures de protection plus rigoureuses compatibles avec le traité.

1.1. Comment utiliser ce guide

On trouve des rayonnements optiques artificiels sur la plupart des lieux de travail. Un grand nombre présentent pas ou peu de risques et certains permettent d'exécuter le travail voulu sans danger.

Il est recommandé de lire ce guide parallèlement à la directive 2006/25/CE (la directive) et à la directive-cadre européenne 89/391/CEE.

La directive 2006/25/CE fixe les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux rayonnements optiques artificiels. De par l'article 13 de cette directive, la Commission européenne doit élaborer un guide pratique pour la mise en œuvre de ces prescriptions.

Ce guide vise essentiellement à aider les employeurs, en particulier les petites et moyennes entreprises. Il peut toutefois être utile aux représentants du personnel ainsi qu'aux organismes de contrôle de conformité des États membres.

Ce guide s'articule naturellement en trois parties:

Tous les employeurs devraient lire les sections 1 et 2 de ce guide.



Si toutes les sources de rayonnement présentes sur le lieu de travail figurent dans la liste à risque d'exposition négligeable incluse dans la section 2.3, aucune mesure n'est alors requise.

En cas de sources de rayonnement non mentionnées dans la section 2.3, l'évaluation des risques est plus complexe. L'employeur doit alors également prendre en compte les informations dans les sections 3 à 9 du présent ouvrage.



Il pourra ainsi prendre une décision avisée, à savoir entreprendre lui-même une évaluation des risques ou faire appel à des services extérieurs.

Les annexes apportent des informations supplémentaires pouvant être utiles aux employeurs qui procèdent eux-mêmes à l'évaluation des risques.

Les informations fournies par les fabricants peuvent aider l'employeur à évaluer les risques. En particulier, certains types d'appareils émettant des rayonnements optiques artificiels doivent être classés par catégorie afin d'indiquer les risques qui y sont liés. Il est recommandé aux employeurs d'obtenir auprès des fournisseurs d'appareils à rayonnements optiques artificiels les informations appropriées. De nombreux appareils doivent être conformes aux normes édictées par les directives de la Communauté européenne, par exemple pour le marquage CE, référence est faite en particulier à ce sujet au paragraphe 12 du préambule de la directive (voir annexe L). Le présent ouvrage propose au chapitre 8 des conseils sur l'utilisation des informations fournies par les fabricants.

Tous les travailleurs sont exposés à des rayonnements optiques artificiels. Le chapitre 2 donne des exemples de sources de rayonnement. Une des difficultés consiste à évaluer de façon appropriée les risques pour les travailleurs en s'assurant que les sources éventuelles de rayonnement ne vont pas au-delà des valeurs limites d'exposition, ce sans devoir passer par une lourde analyse de la plupart des sources de rayonnement qui ne présentent pas de risque dans des conditions raisonnablement prévisibles, à savoir à «risque négligeable».

Le présent ouvrage vise à guider les utilisateurs en suivant un processus logique pour évaluer les risques relatifs à l'exposition des travailleurs à des rayonnements optiques artificiels.

Si toutes les sources de rayonnements optiques artificiels présentes sur le lieu de travail présentent un risque négligeable, aucune mesure n'est alors requise. Certains employeurs souhaiteront peut-être documenter le fait qu'ils ont examiné les sources de rayonnement avant d'arriver à cette conclusion.

Si les sources de rayonnement présentent des risques non négligeables ou si les risques sont indéterminés, les employeurs doivent procéder à une analyse des risques et, le cas échéant, prendre les mesures appropriées.

Le chapitre 3 de ce guide présente brièvement les effets possibles sur la santé.

Le chapitre 4 précise les exigences prescrites par la directive, et le chapitre 5 les valeurs limites d'exposition. Ces deux chapitres couvrent donc les normes édictées.

Le chapitre 6 propose une méthode d'analyse du risque. Dans le cas éventuel d'absence de risque, le processus d'évaluation ne va pas plus loin.

En cas de données inadéquates ne permettant pas de déterminer les risques, il peut s'avérer nécessaire de mesurer le niveau de rayonnement optique auxquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés (voir chapitre 7) ou d'utiliser les informations fournies par les fabricants (voir chapitre 8).

Le chapitre 9 traite des mesures préventives à prendre lorsque les risques doivent être réduits.

Le chapitre 10 indique les dispositions à prendre en cas d'exposition à des rayonnements optiques artificiels au-delà des valeurs limites, et le chapitre 11 traite de la surveillance de la santé.

Les annexes fournissent des informations supplémentaires à l'intention des employeurs et des autres personnes participant au processus d'analyse du risque:

A — Nature des rayonnements optiques

B — Effets biologiques des rayonnements optiques sur les yeux et la peau

C — Quantités et unités des rayonnements optiques artificiels

D — Exemples concrets (cette annexe fournit notamment des exemples spécifiques d'identification de sources à risque classé négligeable)

E — Exigences d'autres directives européennes

F — Législations et recommandations existant dans les États membres

G — Normes européennes et internationales

H — Photosensibilité

I — Ressources

J — Glossaire

K — Bibliographie

L — Directive 2006/25/CE

1.2. Correspondances avec la directive 2006/25/CE

Conformément à l'article 13 de la directive 2006/25/CE du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux rayonnements optiques artificiels, le présent

guide traite des sujets couverts par les articles 4 (détermination de l'exposition et évaluation des risques) et 5 (dispositions visant à éviter ou à réduire les risques), et les annexes I et II (valeurs limites respectives d'exposition aux rayonnements incohérents et laser) de la directive (voir annexe L). Vous trouverez également des conseils concernant d'autres articles de la directive.

Tableau 1.1. Correspondance entre les articles de la directive et les différentes sections de ce guide

Articles de la directive 2006/25/CE	Titre	Sections du guide
Article 2	Définitions	Annexe J
Article 3	Valeurs limites d'exposition	Chapitres 6, 7, 8 et 9
Article 4	Détermination de l'exposition et évaluation des risques	Chapitres 7, 8 et 9
Article 5	Dispositions visant à éviter ou à réduire les risques	Chapitre 9
Article 6	Information et formation des travailleurs	Chapitre 9
Article 7	Consultation et participation des travailleurs	Chapitre 9
Article 8	Surveillance de la santé	Chapitre 11

1.3. Champ d'application du guide

Le présent guide est conçu à l'intention de toutes les entreprises dont les travailleurs risquent d'être exposés à des rayonnements optiques artificiels. La directive ne fournit pas de définition de ces rayonnements. Les sources de rayonnement comme les éruptions volcaniques, les rayons du soleil directs ou réfléchis, par exemple par la lune, sont de toute évidence exclues. Il existe toutefois un certain nombre de sources qui peuvent être ambiguës. Doit-on considérer un feu d'origine humaine comme une source artificielle contrairement à un feu causé par la foudre?

La directive n'exclut de façon spécifique aucune source artificielle de rayonnement optique. Cependant, de nombreuses sources de rayonnement, comme des indicateurs lumineux sur des appareils électriques, présentent un risque négligeable. Le présent ouvrage fournit une liste des sources de rayonnement qui peuvent être classées comme n'excédant pas normalement les valeurs limites d'exposition.

Dans certains cas, l'exposition potentielle des travailleurs à des rayonnements optiques artificiels est complexe; ce type de circonstance n'est pas couvert dans ce guide. Dans de tels cas, il est recommandé aux employeurs d'obtenir des conseils appropriés pour évaluer les risques.

1.4. Réglementations en vigueur et informations supplémentaires

L'utilisation de cet ouvrage ne garantit pas en soi la conformité aux exigences prescrites dans les divers États membres de l'Union européenne concernant la protection contre les rayonnements optiques artificiels. Les États

membres usent du droit pour transposer les prescriptions de la directive 2006/25/CE. Ces textes de loi et réglementations peuvent excéder les exigences minimales requises par la directive, dont traite le présent ouvrage.

Afin de contribuer davantage à la mise en œuvre des normes édictées par la directive, les fabricants peuvent se conformer aux normes européennes concernant l'émission de rayonnements optiques artificiels. Ce guide fait référence aux normes concernées. Il est possible de se les procurer auprès des organismes nationaux de normalisation (documents payants).

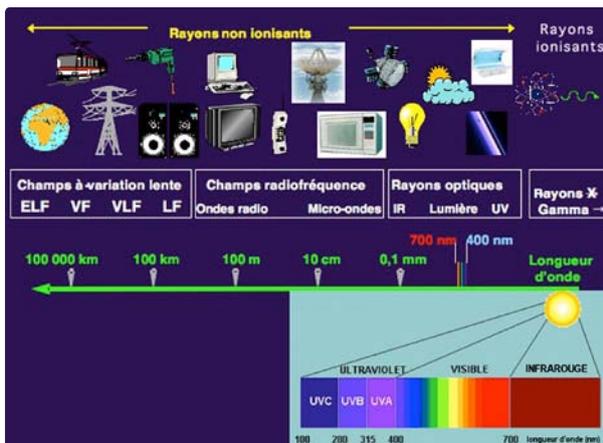
Des informations supplémentaires peuvent être obtenues auprès des organismes de contrôle et de normalisation et en consultant les ouvrages et la documentation à ce sujet. L'annexe F fait référence à des ouvrages publiés à titre indépendant par les autorités compétentes des États membres. À remarquer toutefois que si une publication est mentionnée dans l'annexe, cela ne signifie pas automatiquement qu'elle est en plein accord avec le présent guide.

1.5. Organismes de conseil officiels et non officiels

Au cas où ce guide n'apporte pas de réponse à certaines questions concernant les prescriptions en matière de protection contre les rayonnements optiques artificiels, il est recommandé de contacter directement les sources d'information nationales, en particulier l'inspection du travail, les compagnies ou mutuelles d'assurance, les chambres du commerce et de l'industrie, ainsi que les corporations industrielles et d'artisans.

2. Sources artificielles de rayonnements optiques

2.1. Sources de rayonnements incohérents



2.1.1. Types d'activités professionnelles

Il est difficile de trouver une activité qui n'entraîne pas, à un moment ou à un autre, l'exposition à des rayonnements optiques artificiels. Toute personne travaillant dans un local est susceptible d'être exposée à de tels rayonnements émis par l'éclairage et les écrans d'ordinateur. Certains travaux en extérieur exigent l'usage d'éclairage, sous une forme ou une autre, lorsque la lumière naturelle ne suffit pas. Les personnes effectuant des déplacements au cours de leur travail sont susceptibles d'être exposées à un éclairage artificiel, même si ce n'est qu'à la lumière des phares d'autres véhicules. Il s'agit globalement de sources artificielles de rayonnements optiques, qui sont donc soumises aux prescriptions de la directive.

À part les sources constantes de rayonnement, comme l'éclairage et les écrans d'ordinateurs, des rayonnements optiques artificiels peuvent être produits intentionnellement, en tant que partie inhérente d'un certain processus, ou involontairement en tant qu'effet indésirable. Par exemple, pour rendre une teinture fluorescente, il est nécessaire de l'exposer à des rayons ultraviolets. D'autre part, la forte production d'ultraviolets lors de soudage à l'arc n'est pas indispensable au processus mais est inévitable.

Que les rayonnements optiques soient produits et utilisés intentionnellement ou qu'ils constituent un effet indésirable et accidentel, il est toutefois nécessaire de contrôler l'exposition à ces rayonnements ne serait-ce qu'en termes de conformité aux valeurs prescrites par la directive. On trouve des rayonnements optiques artificiels sur la plupart des lieux de travail, et surtout dans les types d'industries suivants:

- la fabrication à chaud, comme la verrerie et la métallurgie, les fourneaux émettant des rayons infrarouges;
- l'imprimerie, les encres et peintures étant souvent fixées par photopolymérisation;
- les arts et spectacles, les artistes et modèles étant exposés directement à des projecteurs, des éclairages spéciaux, des lampes pilotes et flash;
- les spectacles, les travailleurs opérant dans la salle où se trouve le public peuvent être exposés à l'éclairage général et aux effets lumineux spéciaux;
- l'usage de tests non destructeurs pouvant inclure l'usage d'ultraviolets pour révéler la présence de teintures fluorescentes;
- les traitements médicaux, les professionnels de santé et les patients risquant d'être exposés à l'éclairage en salle d'opération et aux rayonnements optiques à usage thérapeutique;
- la cosmétique. Traitements avec laser et lampe éclair, ainsi qu'à base d'ultraviolets ou d'infrarouges;
- les grandes surfaces et industries en entrepôts, utilisant de vastes locaux éclairés par de puissantes sources lumineuses;
- les laboratoires pharmaceutiques et de recherche, susceptibles d'utiliser la stérilisation par ultraviolets;
- le traitement des eaux usées, avec usage possible de stérilisation par ultraviolets;
- la recherche, domaine dans lequel les lasers sont susceptibles d'être utilisés, ainsi que les ultraviolets pour obtenir un effet fluorescent;
- la métallurgie avec soudage;
- la fabrication de plastique soudé au laser;

Cette liste n'a aucun caractère exhaustif.

2.1.2. Applications

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des types d'usages selon différentes bandes spectrales, y compris les

rayonnements non nécessaires au processus concerné mais susceptibles d'être présents. Les bandes spectrales sont décrites en annexe A.

Longueur d'onde	Usage	Rayonnements produits involontairement durant l'usage
UVC	Stérilisation germicide Fluorescence (laboratoire) Photolithographie	Séchage d'encre Éclairage de certaines zones et tâches Certains projecteurs Soudage à l'arc
UVB	Lits de bronzage Photothérapie Fluorescence (laboratoire) Photolithographie	Lampes germicides Séchage d'encre Éclairage de certaines zones et tâches Projecteurs Soudage à l'arc
UVA	Fluorescence (laboratoire, tests non destructeurs, effets spéciaux pour spectacle, détection d'activité criminelle, de contrefaçon, marquage des biens) Photothérapie Lits de bronzage Séchage d'encre Pièges à insectes Photolithographie	Lampes germicides Éclairage de certaines zones et tâches Projecteurs Soudage à l'arc
Visibles	Éclairage de certaines zones et tâches Indicateurs lumineux Feux de signalisation Épilation et élimination de fines veines apparentes Séchage d'encre Pièges à insectes Photolithographie Photocopie Projection Écrans de télévision et d'ordinateur	Lits de bronzage Certains processus de chauffage et de séchage Soudage
IRA	Éclairage de surveillance Chauffage Séchage Épilation et élimination de fines veines apparentes Communications	Éclairage de certaines zones et tâches Soudage
IRB	Chauffage Séchage Communications	Éclairage de certaines zones et tâches Soudage
IRC	Chauffage Séchage	Éclairage de certaines zones et tâches Soudage

Certaines bandes spectrales qui figurent dans cette liste en tant que rayonnements involontaires sont émises uniquement en cas de mauvais fonctionnement. Par exemple, certains types de projecteurs utilisent une lampe à décharge haute pression à vapeur de mercure, qui émet des rayons de toutes les bandes spectrales mais est

habituellement dotée d'une enveloppe protectrice évitant au maximum le passage d'ultraviolets B et C. Si la lampe continue d'être utilisée alors que son enveloppe protectrice est endommagée, elle émet alors une quantité dangereuse de rayons ultraviolets.

2.2. Sources de rayonnements laser

L'usage du laser a été démontré pour la première fois avec succès en 1960. L'emploi de cette technologie était surtout limité à la recherche et à l'armée. Habituellement, les lasers étaient utilisés par les personnes mêmes qui les avaient conçus et fabriqués, et qui de ce fait risquaient d'être exposés aux rayonnements. Cela dit, aujourd'hui, l'emploi du laser se retrouve pratiquement partout. Il a de nombreux emplois sur le lieu de travail, et se trouve parfois incorporé dans des appareils dans lesquels les rayonnements laser sont contrôlés grâce à certains moyens techniques efficaces, l'utilisateur n'ayant alors aucun besoin de savoir que l'appareil contient un laser.

Par définition, les faisceaux laser émettent sur une seule ou quelques longueurs d'onde discrètes. Cette émission est très directive et permet ainsi de maintenir plus ou moins la puissance ou l'énergie émise sur une cible donnée sur

des distances considérables. Le faisceau laser est cohérent, ou les ondes individuelles le constituant se présentent en phases. Il est habituellement possible de concentrer un faisceau laser sur un point précis, ce qui peut causer des lésions et des dommages en surface. Il ne s'agit là que de généralisations. Il existe des lasers qui produisent des faisceaux sur un vaste domaine de longueurs d'onde, d'autres capables d'émettre des faisceaux à forte divergence, ou encore qui diffusent des rayonnements incohérents sur la plus grande partie de la longueur de cheminement optique. L'émission laser peut être continue, d'où le terme d'onde continue (CW: continuous wave), ou pulsée.

Les lasers sont classés selon le «corps actif» utilisé pour générer le faisceau, qui peut se présenter sous forme solide, liquide ou de gaz. Il existe deux types de lasers à corps actif solide: ceux à base de solides sous forme de cristaux, appelés lasers à corps solide, et ceux à semi-conducteurs. Le tableau ci-dessous récapitule certains lasers typiques avec les longueurs d'onde qu'ils émettent.

Type	Laser	Longueur d'onde principale	Émission
GAZ	Hélium Néon (HeNe)	632,8 nm	CW jusqu'à 100 MW
	Helium Cadmium (HeCd)	422 nm	CW jusqu'à 100 MW
	Argon (Ar)	488, 514 nm plus lignes bleues	CW jusqu'à 20 W
	Krypton (Kr)	647 nm plus UV, bleu et jaune	CW jusqu'à 10 W
	Dioxyde de carbone (CO ₂)	10 600 nm (10,6 µm)	Impulsion ou CW jusqu'à 50 kW
	Azote (N)	337,1 nm	Impulsion > 40 µJ
	Chlorure de xénon (XeCl) Fluorure de krypton (KrF) Fluorure de xénon (XeF) Fluorure d'argon (ArF)	308 nm 248 nm 350 nm 193 nm	Impulsion jusqu'à 1 J
CORPS SOLIDE	Rubis	694,3 nm	Impulsion jusqu'à 40 J
	Néodyme: YAG (Nd:YAG)	1 064 et 1 319 nm 532 et 266 nm	Impulsion ou CW jusqu'à TW, CW moyenne de 100 W
	Néodyme: Verre (Nd:verre)	1 064 nm	Impulsion jusqu'à 150 J
FIBRES	Ytterbium (Yb)	1 030-1 120 nm	CW jusqu'au kW
DISQUE FIN	Ytterbium: YAG (Yb:YAG)	1 030 nm	CW jusqu'à 8 000 W
PLAQUE	Dioxyde de carbone (CO ₂) Laser à cristal	10 600 nm	CW jusqu'à 8 000 W
SEMI-CONDUCTEUR	Matériaux divers — ex. GaN GaAlAs InGaAsP	400-450 nm 600-900 nm 1 100-1 600 nm	CW (certains avec impulsion) jusqu'à 30 W
LIQUIDE (COLORANTS)	Colorants: plus de 100 différents colorants laser sont utilisés comme corps actif	300-1800 nm 1 100-1 600 nm	Impulsion jusqu'à 2,5 J CW jusqu'à 5 W

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les textes et ouvrages de référence indiqués dans l'annexe K «Bibliographie».

Voici résumés certains usages de laser:

Catégorie	Exemples d'usage
Traitement de matériau	Découpage, soudage, marquage au laser, perçage, photolithographie, fabrication rapide
Appareils optiques de mesure	Mesurage de distances, étude topographique ou autre, vélocimétrie au laser, vibrométrie laser, interférométrie des tavelures électroniques, hydrophones à fibre optique, images haut débit, analyse de la taille de particules
Médecine	Ophtalmologie, chirurgie corrective, thérapie photodynamique, dermatologie, scalpel laser, chirurgie vasculaire, médecine dentaire, matériel médical servant au diagnostic
Communications	Fibres, espace libre, satellite
Stockage de données optiques	CD et DVD, imprimante laser
Spectroscopie	Identification de substances
Holographie	Spectacles, stockage de données
Spectacles	Shows laser, pointeurs laser

2.3. Sources à risque d'exposition négligeable

Ce guide présente en annexe D des exemples concrets de sources artificielles de rayonnements optiques que l'on rencontre couramment sur de nombreux lieux de travail, notamment dans les magasins et les bureaux. Pour chaque type de source de rayonnement considérée, il n'est pas possible de dresser une liste exhaustive de tous les appareils émettant de tels rayonnements, compte tenu des innombrables équipements et dispositifs de conceptions diverses qui existent actuellement. Des différences par exemple dans la courbure d'un réflecteur, dans l'épaisseur du verre de protection ou dans la fabrication d'une lampe fluorescente peuvent modifier considérablement l'émission effective de rayonnements optiques artificiels. De ce fait, chaque exemple est strictement particulier au type et au modèle de la source de rayonnement examinée.

Toutefois, lorsqu'un exemple concret montre:

- qu'une source de rayonnement donnée peut entraîner une exposition correspondant seulement à une fraction des valeurs limites ($\approx < 20\%$), ou
- qu'une source de rayonnement présente des risques d'exposition supérieurs aux valeurs limites mais seulement dans des situations véritablement improbables,

alors, on peut considérer que l'exposition dans des conditions normales à ces types de sources de rayonnement présente un risque négligeable pour la santé, en d'autres mots qu'elle est «sans danger».

Les tableaux ci-après présentent en deux catégories les types courants de sources de rayonnement:

- risque négligeable (dû à l'insignifiante émission accessible de rayonnements),
- non dangereux lors d'un usage normal (les risques d'exposition excessive étant liés à des circonstances exceptionnelles).

S'il n'existe sur un lieu de travail que des sources de rayonnement figurant dans ces tableaux, et si elles sont utilisées uniquement dans les circonstances décrites, on peut considérer qu'il n'est pas nécessaire de procéder à une analyse plus approfondie des risques. Dans le cas contraire, la personne responsable de la sécurité au travail devrait consulter les autres chapitres de ce guide, ainsi que les annexes qui fournissent un grand nombre d'informations.

Sources de rayonnement ne présentant qu'un risque négligeable d'exposition, considérées comme «sans danger»

Plafonniers fluorescents avec écran diffuseur recouvrant les lampes
Écrans d'ordinateur ou similaires
Plafonniers compacts fluorescents
Éclairage compact fluorescent par projecteur
Pièges à insectes à UVA
Spots halogènes tungstène au plafond
Lampe de travail au tungstène (y compris avec ampoules «plein spectre» lumière du jour)
Éclairage au tungstène au plafond
Photocopieuses
Matériel de présentation interactive sur tableau blanc
Voyants LED
Assistants numériques personnels
Clignotants, feux de frein, de recul et de brouillard
Lampes flash pour photographie
Appareils surélevés de chauffage à rayonnement au gaz
Éclairage des rues

Sources ne présentant pas de risque dans certaines circonstances spécifiques	
Source de rayonnement	Conditions d'usage sans danger
Plafonniers fluorescents sans écran diffuseur	Sans danger à puissance d'éclairage normale (≈ 600 lux)
Éclairage à halogénures métalliques ou à mercure sous haute pression	Sans danger tant que le verre protecteur est intact et que l'éclairage est hors du champ de vision
Projecteurs de bureau	Sans danger en l'absence de vision directe dans le faisceau
Lumière noire UVA basse pression	Sans danger hors du champ de vision
Tout appareil laser de «classe 1» (suivant la norme NF EN 60825-1)	Sans danger si l'enveloppe protectrice est intacte. Dangereux si elle est retirée
Tout appareil de «catégorie exemptée» (suivant la norme NF EN 62471)	Sans danger hors du champ de vision. Peut être dangereux si l'enveloppe protectrice est retirée
Phares de véhicules	Sans danger sans vision directe prolongée dans le faisceau

3. Exposition aux rayonnements optiques: incidences sur la santé

Les rayonnements optiques pénètrent les couches supérieures de la peau, aussi leurs effets biologiques se limitent-ils principalement à la peau et aux yeux, bien qu'ils puissent avoir également des incidences sur l'organisme. Différentes longueurs d'onde causent différents effets selon l'endroit de la peau ou des yeux soumis aux rayonnements et le type d'interaction: les rayons ultraviolets ont principalement des effets photochimiques, alors que les infrarouges ont une incidence thermique. Les rayonnements laser ont des effets supplémentaires qui se caractérisent par une assimilation très rapide de l'énergie au niveau des tissus, et ils sont particulièrement dangereux pour les yeux en cas de concentration possible du faisceau.

Les effets biologiques peuvent être divisés en deux catégories, à savoir les manifestations aiguës (d'apparition brusque) et chroniques (résultant d'une exposition prolongée et répétée sur une longue période de temps). De façon générale, les manifestations aiguës apparaissent seulement lorsque l'exposition excède un certain seuil, qui habituellement varie d'une personne à l'autre. Les valeurs limites d'exposition pour la plupart reposent sur

des études de seuils de réaction aiguë et des conclusions statistiques relatives à ces seuils. Ainsi, une exposition au-delà de ces valeurs limites ne provoquera pas forcément des effets nuisibles pour la santé. Les risques pour la santé augmentent graduellement suivant le degré d'exposition au-dessus des valeurs limites. La plupart des effets nuisibles décrits ci-après se produisent, chez les travailleurs adultes en bonne santé, à des degrés d'exposition bien supérieurs aux valeurs limites prescrites par la directive. Toutefois, les personnes hypersensibles à la lumière peuvent avoir des réactions physiologiques à des degrés d'exposition inférieurs aux valeurs limites.

Souvent, dans le cas de réactions chroniques, les personnes ne présentent pas de «seuil de tolérance», ce qui fait que les risques ne peuvent pas être totalement éliminés. Les risques peuvent être réduits, en diminuant l'exposition et en s'assurant que les valeurs limites d'exposition aux sources artificielles de rayonnements sont respectées et maintenues en dessous des degrés d'exposition aux rayonnements optiques naturels tolérés dans notre société.

Longueur d'onde (nm)		Œil	Peau
100-280	UVC	Photokératite Photoconjonctivite	Érythème Cancer de la peau
280-315	UVB	Photokératite Photoconjonctivite Cataracte	Érythème Élastose (photovieillessement) Cancer de la peau
315-400	UVA	Photokératite Photoconjonctivite Cataracte Lésion de la rétine par la lumière	Érythème Élastose (photovieillessement) Mélanodermie immédiate Cancer de la peau
380-780	Visibles	Lésion de la rétine par la lumière (lumière bleue dangereuse) Brûlure rétinienne	Brûlure
780-1 400	IRA	Cataracte Brûlure rétinienne	Brûlure
1 400-3 000	IRB	Cataracte	Brûlure
3 000-10 ⁶	IRC	Brûlure cornéenne	Brûlure

4. Prescriptions de la directive relative aux rayonnements optiques artificiels

Le texte complet de la directive est présenté dans l'annexe L de ce guide. Ce chapitre en récapitule les principales exigences.

La directive fixe les prescriptions MINIMALES de sécurité et de santé à observer pour protéger les travailleurs des risques effectifs ou éventuels dus à l'exposition à des rayonnements optiques artificiels. Les États membres peuvent donc mettre en œuvre, ou avoir déjà en place, une réglementation plus stricte que ces minimums.

4.1. Article 4: détermination de l'exposition aux rayonnements et évaluation des risques

La directive insiste principalement sur les précautions à prendre afin d'éviter que les travailleurs ne soient exposés aux rayonnements optiques artificiels au-delà des valeurs limites précisées dans ses annexes. Les

employeurs à cet effet peuvent utiliser les informations livrées avec le matériel source de rayonnement, procéder à une analyse globale eux-mêmes ou la confier à un tiers, se baser sur une évaluation théorique ou effectuer leurs propres mesures. La directive ne donne aucune précision quant aux méthodes à utiliser, il appartient donc à l'employeur de choisir le moyen de procéder à cette importante analyse. Les employeurs sont toutefois invités à se référer aux ouvrages et textes publiés concernant les normes dans ce domaine et, si besoin, à toute «recommandation scientifique publiée dans le pays concerné ou à l'échelle internationale».

Un grand nombre de prescriptions de la directive rejoignent celles de la directive européenne 89/391/CEE, ce qui signifie qu'un employeur qui se conforme déjà aux exigences de cette dernière devrait, sans gros travail supplémentaire, pouvoir respecter celles de la directive. L'employeur, lors de l'analyse du risque, doit toutefois prêter particulièrement attention aux points suivants (articles 4, paragraphe 3):

À prendre en compte	Observations
a) La gamme de longueurs d'onde, le degré et la durée d'exposition aux sources artificielles de rayonnements optiques	Cette information est essentielle pour ce qui est des circonstances considérées. Si le degré d'exposition se trouve considérablement en dessous des valeurs limites fixées pour une journée complète de travail (estimée à 8 heures), aucune autre analyse n'est alors nécessaire, à moins d'exposition à plusieurs sources de rayonnements pouvant constituer un risque. Voir le point h).
b) Les valeurs limites d'exposition stipulées à l'article 3 de cette directive	Selon les données obtenues au point a), il devrait être possible de déterminer les valeurs limites d'exposition applicables.
c) Tout effet pouvant menacer la santé et la sécurité des travailleurs appartenant à des groupes à risques particulièrement sensibles	Il est conseillé d'adopter une démarche réactive plutôt que proactive. Par exemple, il se peut que certains travailleurs sachent déjà qu'ils sont particulièrement sensibles aux lumières clignotantes. L'employeur devra alors décider s'il convient d'apporter des modifications concernant le travail exécuté.
d) Tout effet susceptible de menacer la santé et la sécurité des travailleurs suite à des interactions entre rayonnements optiques et substances chimiques causant une réactivité à la lumière	Il est conseillé aux employeurs d'analyser en particulier la photosensibilité due à des produits chimiques utilisés sur le lieu de travail. Ceci dit, tout comme au point c), l'employeur devra peut-être prendre des mesures pour résoudre des problèmes concernant des travailleurs dont la photosensibilité est due à des produits chimiques utilisés en dehors du lieu de travail.

À prendre en compte	Observations
e) Tout effet indirect comme la perte de vue temporaire, une explosion ou un incendie	L'exposition des yeux à une lumière forte peut poser des problèmes dans certains domaines de travail. Les réactions normales de protection devraient suffire en cas d'exposition inférieure aux valeurs limites. L'employeur devrait toutefois prendre en compte les sources artificielles de rayonnements optiques susceptibles de distraire, d'éblouir, d'aveugler ou de créer une post-image, si ces effets risquent de menacer la sécurité notamment des travailleurs ou de toute autre personne. Certains appareils à rayonnement optique peuvent causer une explosion ou un incendie. C'est le cas en particulier des lasers de classe 4. Il convient toutefois d'examiner les autres sources de rayonnement, surtout dans les endroits avec des produits inflammables ou explosifs.
f) L'existence de matériel de remplacement conçu pour réduire le degré d'exposition aux rayonnements optiques artificiels	Il est recommandé d'envisager cette possibilité si les travailleurs risquent d'être exposés à des rayonnements optiques artificiels au-delà des valeurs limites.
g) Informations appropriées obtenues autant que possible de la surveillance de la santé, y compris issues de textes et d'ouvrages publiés	Ces informations peuvent être internes à l'entreprise, ou issues de corporations industrielles ou d'organisations internationales comme l'Organisation mondiale de la santé et la Commission internationale sur la protection contre les rayonnements non ionisants.
h) Exposition à plusieurs sources artificielles de rayonnements optiques	À partir des données obtenues aux points a) et b), il devrait être possible de déterminer pour chaque source artificielle de rayonnement optique la «fraction d'exposition» par rapport aux valeurs limites. Une démarche simplifiée consiste à le faire pour toutes les sources artificielles auxquelles les travailleurs risquent d'être exposés et d'additionner les valeurs obtenues. Si la somme totale est inférieure à 1, alors on peut considérer qu'il y a peu de risque de dépasser les valeurs limites d'exposition. Dans le cas contraire, il est nécessaire de procéder à une évaluation plus approfondie du risque.
i) Une classification appliquée aux lasers conformément aux normes Cenelec correspondantes pour toute source artificielle susceptible de présenter des dangers similaires aux lasers classés 3B ou 4, ou toute autre catégorie semblable	Les appareils à laser classés 3B et 4 émettent des rayonnements accessibles pouvant excéder les valeurs limites d'exposition. Toutefois, dans certaines circonstances, des lasers classés moins dangereux doivent également faire l'objet d'une évaluation des risques. La norme NF EN 62471 donne une classification à part des sources artificielles de rayonnements optiques hors lasers. Les appareils de classe 3 devraient faire l'objet d'une analyse des risques, mais les appareils classés moins dangereux devraient aussi donner lieu à une évaluation.
j) Les informations fournies, conformément aux directives européennes correspondantes, par les fabricants de matériel à rayonnement optique et d'appareils utilisés en association avec ce type d'équipement	Les employeurs devraient demander aux fabricants et fournisseurs de leur communiquer des informations adéquates concernant les appareils et dispositifs à rayonnement optique artificiel leur permettant de procéder à l'analyse du risque requise par la directive. Il est conseillé d'inclure la mise à disposition de telles informations dans la charte client.

4.2. Article 5: dispositions visant à éviter ou à réduire les risques

Il est important de savoir que, contrairement à de nombreuses autres sources de danger, le fait de ramener le degré d'exposition aux rayonnements optiques artificiels en dessous d'un certain niveau peut en fait augmenter les risques de blessures. L'éclairage d'une zone en constitue un parfait exemple. Les indicateurs et signaux lumineux doivent émettre le degré voulu de rayonnements optiques artificiels pour remplir leur fonction. Ainsi, l'article 5 précise les dispositions à prendre pour éviter ou réduire les risques. Cette approche rejoint celle de la directive 89/391/CEE, et ces principes sont étudiés plus en détail dans le chapitre 9 du présent ouvrage.

4.3. Article 6: information et formation des travailleurs

Les exigences prescrites à l'article 6 sont similaires à celles de la directive 89/391/CEE. Il est essentiel de relativiser les risques. Les travailleurs doivent comprendre qu'il existe sur leur lieu de travail de nombreuses sources artificielles de rayonnements optiques qui ne présentent aucun risque pour la santé, un grand nombre contribuant même à leur bien-être. Ceci dit, si des risques ont été identifiés, il convient de fournir au personnel les informations et la formation appropriées. Ce sujet est présenté plus en détail dans le chapitre 9.

4.4. Article 7: consultation et participation des travailleurs

Cet article fait référence aux prescriptions de la directive 89/391/CEE.

4.5. Article 8: surveillance de la santé

L'article 8 repose sur les exigences édictées par la directive 89/391/CEE. Un grand nombre de détails spécifiques sont susceptibles de varier selon les réglementations en vigueur dans les États membres. Vous trouverez dans le chapitre 11 de ce guide des conseils concernant la surveillance de la santé.

4.6. Résumé

De nombreuses prescriptions de la directive figurent déjà dans d'autres textes réglementaires européens, en particulier dans la directive 89/391/CEE (voir annexe E). Chacun des chapitres du présent ouvrage donne des conseils spécifiques pour se conformer aux exigences stipulées dans les articles de la directive.

5. Utilisation des valeurs limites d'exposition

La directive dans ses annexes I et II fixe les valeurs limites d'exposition, d'une part, pour les rayonnements optiques incohérents, d'autre part, pour les rayonnements optiques laser. Ces valeurs limites tiennent compte des effets d'un point de vue biophysique des rayonnements optiques selon différentes longueurs d'onde, la durée d'exposition et les tissus touchés. Les valeurs limites d'exposition sont basées sur les recommandations publiées par la Commission internationale sur la protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI). De plus amples informations sur le calcul de base des valeurs limites d'exposition sont disponibles sur le site internet www.icnirp.org (voir Références). À remarquer que la CIPRNI peut très bien modifier ces recommandations; si tel est le cas, les valeurs limites d'exposition stipulées dans la directive seront amendées.

L'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists — Conférence américaine des hygiénistes industriels gouvernementaux) a publié des valeurs limites similaires, bien que différentes.

Il est nécessaire de connaître la gamme de longueurs d'onde des rayonnements optiques pour sélectionner la valeur limite d'exposition applicable. Il est possible qu'à une gamme de longueurs d'onde donnée correspondent plusieurs valeurs limites. Les valeurs limites pour les rayonnements laser sont généralement plus faciles à déterminer car l'émission se réduit à une seule longueur d'onde. Toutefois, pour les appareils laser qui émettent des rayonnements sur plus d'une longueur d'onde ou en cas d'exposition à plusieurs sources de rayonnements, il peut être nécessaire de tenir compte des effets cumulatifs.

Le fait de procéder à des analyses complètes de l'exposition des travailleurs aux rayonnements optiques et de comparer les résultats obtenus avec les valeurs limites d'exposition peut être complexe et aller au-delà des informations fournies dans ce guide. Les informations ci-après sont communiquées à l'intention des employeurs afin de les aider à déterminer s'ils doivent faire appel à des services spécialisés.

5.1. Rayonnements optiques laser

La classification des lasers (voir point 8.1.1) formule à l'intention des utilisateurs des recommandations face à l'ampleur des dangers liés aux faisceaux laser, tels qu'évalués lors de mesurages effectués dans des conditions précises. Utilisés correctement, les appareils de classe 1 sont sans danger et ne requièrent donc pas d'analyse de risque. Une telle analyse est toutefois nécessaire si un laser de classe 1 doit faire l'objet d'un entretien ou d'une révision et contient un laser de classe supérieure en terme de risque. Sauf information contraire, les employeurs devraient présumer que les lasers classés 3B et 4 sont dangereux pour les yeux. Les lasers de classe 4 peuvent de plus causer des lésions cutanées.

Dans le cas d'usage de lasers de classe 3B et 4, il convient d'utiliser les services d'une personne compétente, par exemple un responsable de sécurité laser.

La désignation «classe 2» implique que l'appareil laser n'excède pas les valeurs limites en cas d'exposition accidentelle en dessous de 0,25 s. Si l'usage de l'appareil implique une exposition répétée des yeux du travailleur au faisceau laser, une analyse plus détaillée du risque doit être entreprise afin de déterminer si les valeurs limites sont susceptibles d'être dépassées.

Une évaluation des expositions potentielles doit être faite en cas d'usage de lasers classés 1M, 2M et 3R.

Les valeurs limites d'exposition concernant les rayonnements laser fournies dans l'annexe II de la directive sont reproduites dans le présent ouvrage en annexe L. Ces valeurs sont exprimées en éclairement énergétique (en watts par mètre carré, $W m^{-2}$) ou en exposition énergétique (en joules par mètre carré, $J m^{-2}$).

Lors du calcul de l'éclairement énergétique ou de l'exposition énergétique d'un faisceau laser, il convient

de calculer les moyennes de ces valeurs à partir de la surface circulaire utilisée, appelée diaphragme limite, comme précisé dans les tableaux 2.2, 2.3 et 2.4 de l'annexe II de la directive.

Tableaux précisant les valeurs limites d'exposition pour les rayonnements optiques laser

Valeurs limites d'exposition de l'œil au laser — Exposition de courte durée (< 10 s) — tableau 2.2

Valeurs limites d'exposition de l'œil au laser — Exposition de longue durée (≥ 10 s) — tableau 2.3

Valeurs limites d'exposition de la peau au laser — tableau 2.4

La durée d'exposition à considérer dépend du caractère accidentel ou volontaire de cette dernière. Pour les faisceaux laser entre 400 et 700 nm, la durée d'exposition accidentelle de l'œil est habituellement estimée à 0,25 s, et entre 10 et 100 s pour toutes les autres longueurs d'onde. En cas d'exposition de la peau uniquement, il semble alors raisonnable d'utiliser 10 ou 100 s, quelle que soit la longueur d'onde.

Pour ces durées d'exposition, il est possible de calculer à partir du diaphragme la puissance maximale possible dans les limites prescrites. Les résultats de ce type de calculs relatifs à l'exposition de l'œil à un faisceau laser en onde continue à partir d'une petite source d'émission sont fournis ci-après.

Longueur d'onde (nm)	Diaphragme limite (mm)	Durée d'exposition (s)	Valeurs limites d'exposition ($W m^{-2}$)	Puissance maximale au diaphragme (W)	Puissance maximale au diaphragme (mW)
180 à 302,5	1	10	3,0	0,000 002 4	0,002 4
≥302,5 à 315	1	10	3,16 à 1 000	0,000 002 5 à 0,000 79	0,002 5 à 0,79
305	1	10	10	0,000 007 9	0,007 9
308	1	10	39,8	0,000 031	0,031
310	1	10	100	0,000 079	0,079
312	1	10	251	0,000 20	0,20
≥ 315 à 400	1	10	1 000	0,000 79	0,79
≥ 400 à 450	7	0,25	25,4	0,000 98	0,98
≥ 450 à 500	7	0,25	25,4	0,000 98	0,98
≥ 500 à 700	7	0,25	25,4	0,000 98	0,98
≥ 700 à 1 050	7	10	10 à 50	0,000 39 à 0,001 9	0,39 à 1,9
750	7	10	12,5	0,000 49	0,49
800	7	10	15,8	0,000 61	0,61
850	7	10	19,9	0,000 77	0,77
900	7	10	25,1	0,000 97	0,97
950	7	10	31,6	0,001 2	1,2
1 000	7	10	39,8	0,001 5	1,5
≥1 050 à 1 400	7	10	50 à 400	0,001 9 à 0,015	1,9 à 15
≥1 050 à 1 150	7	10	50	0,001 9	1,9
1 170	7	10	114	0,004 4	4,4
1 190	7	10	262	0,010	10
≥ 1 200 à 1 400	7	10	400	0,015	15
≥ 1 400 à 1 500	3,5	10	1 000	0,009 6	9,6
≥ 1 500 à 1 800	3,5	10	1 000	0,009 6	9,6
≥ 1 800 à 2 600	3,5	10	1 000	0,009 6	9,6
≥ 2 600 à 10^5	3,5	10	1 000	0,009 6	9,6
≥ 10^5 à 10^6	11	10	1 000	0,095	95

La réglementation IEC TR 60825-14 fournit davantage de précisions sur l'analyse des valeurs limites d'exposition. À noter qu'elle utilise les termes «exposition maximale

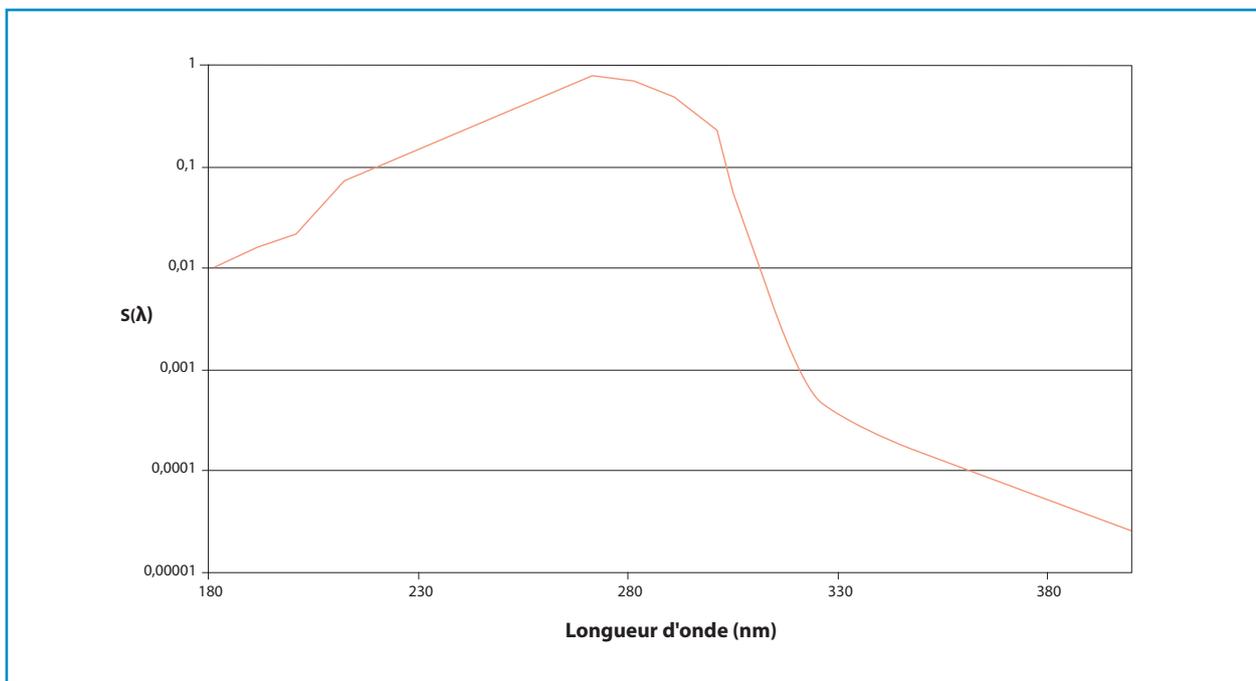
permissible» (en anglais: MPE — maximum permissible exposure) au lieu de valeurs limites d'exposition.

5.2. Rayonnements optiques incohérents

L'utilisation des valeurs limites d'exposition aux rayonnements optiques incohérents est généralement plus complexe que pour les rayonnements laser. Ce qui est dû à l'exposition potentielle des travailleurs à diverses longueurs d'ondes au lieu d'une seule longueur d'onde. Il est toutefois possible de simplifier cette opération en supposant le cas le plus défavorable à plusieurs niveaux afin de déterminer si une analyse plus approfondie du risque est nécessaire.

Les tableaux 1.2 et 1.3 de l'annexe I de la directive comprennent trois facteurs de modification sans dimension. La pondération spectrale $S(\lambda)$ de l'éclairement énergétique spectrique ou de l'exposition énergétique spectrique s'applique entre 180 et 400 nm et tient compte du rapport entre la longueur d'onde et les effets sanitaires des rayonnements sur les yeux et la peau. Cette pondération faite, les données obtenues sont appelées habituellement éclairement énergétique *efficace* ou exposition énergétique *efficace*.

Diagramme 5.1 — Pondération spectrale $S(\lambda)$



La valeur maximale de $S(\lambda)$ est de 1,0 à 270 nm. Une démarche simple consiste à supposer que l'émission globale entre 180 et 400 nm se situe à 270 nm [la pondération spectrale $S(\lambda)$ ayant une valeur maximale de 1, cela équivaut tout simplement à l'ignorer]. Les valeurs limites d'exposition étant exprimées en exposition énergétique ($J m^{-2}$), lorsque l'éclairement énergétique de la source de rayonnement est connu il est possible d'utiliser le tableau ci-après afin de déterminer la durée maximale

d'exposition possible pour un travailleur dans les limites prescrites, fixées à $30 J m^{-2}$.

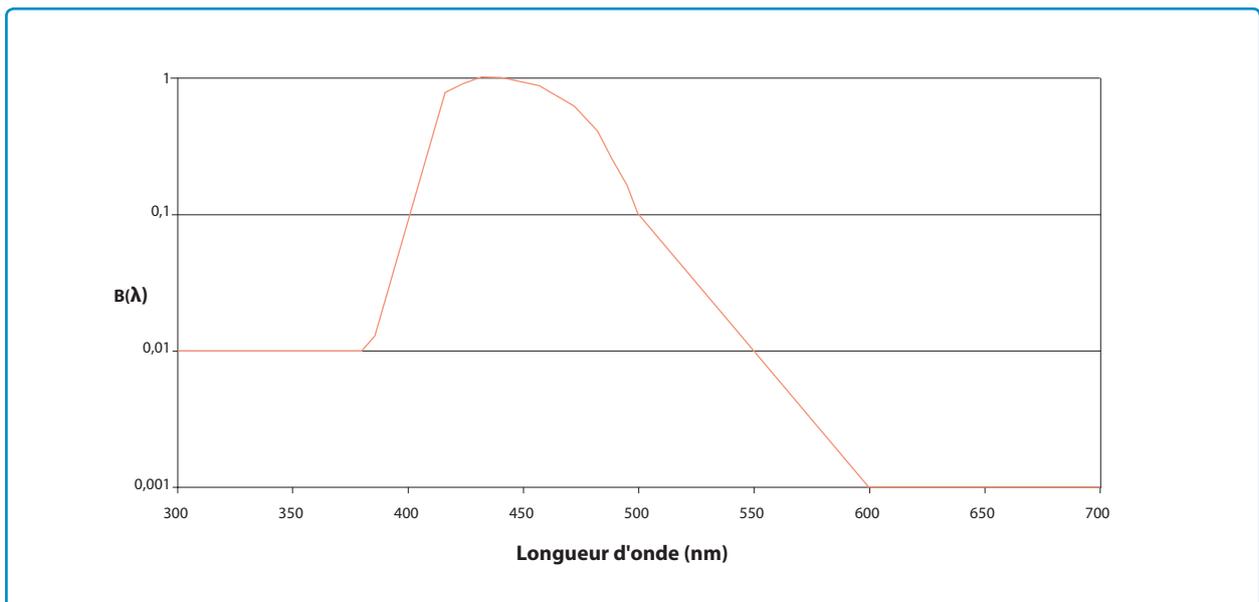
Si cette durée est respectée, en supposant que l'émission de rayonnements est de 270 nm, aucune analyse plus approfondie n'est requise. Par contre, si elle dépasse les limites prescrites, il convient alors de déterminer plus précisément la densité spectrique.

Durée d'exposition au cours d'une journée de travail de 8 heures	Éclairage énergétique (efficace) — $W m^{-2}$
8 heures	0,001
4 heures	0,002
2 heures	0,004
1 heure	0,008
30 minutes	0,017
15 minutes	0,033
10 minutes	0,05
5 minutes	0,1
1 minute	0,5
30 secondes	1,0
10 secondes	3,0
1 seconde	30
0,5 seconde	60
0,1 seconde	300

La pondération spectrale $B(\lambda)$ s'applique entre 300 et 700 nm pour tenir compte du rapport entre la longueur

d'onde et la lésion photochimique de l'œil, représenté dans le diagramme ci-dessous.

Diagramme 5.2 — Pondération spectrale $B(\lambda)$

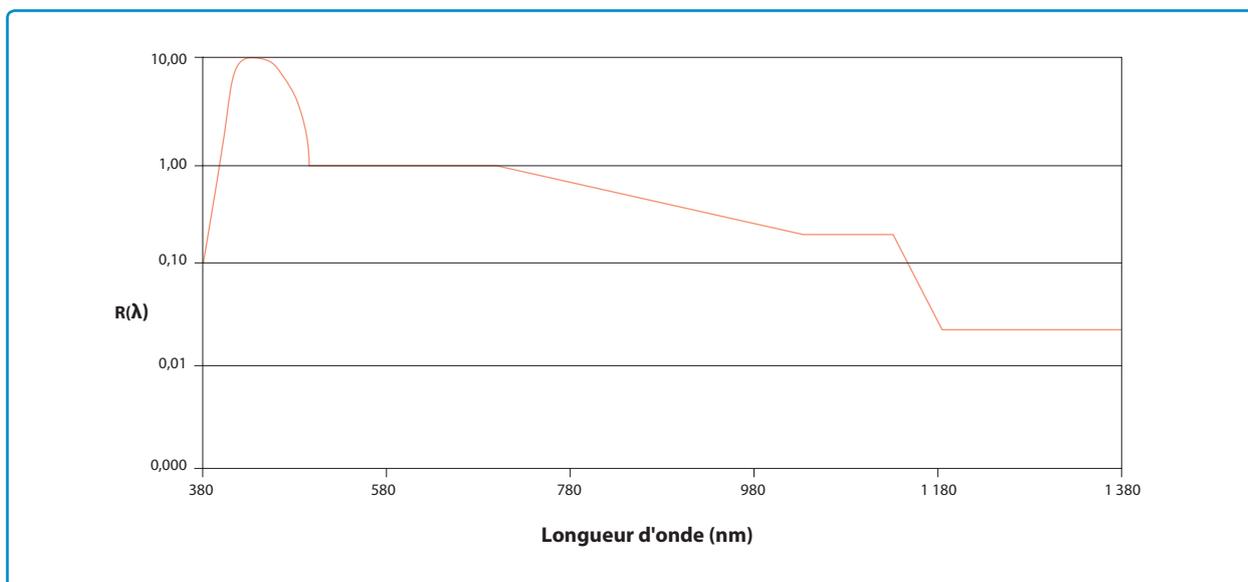


Cette pondération spectrale a pour valeur maximale 1,0 entre 435 et 440 nm. Si les valeurs limites d'exposition sont respectées en supposant que l'émission de rayonnement globale entre 300 et 700 nm se situe aux environs de 440 nm [la pondération spectrale $B(\lambda)$ ayant une valeur maximale de 1, cela correspond tout simplement

à l'ignorer], cette conformité sera confirmée lors d'une analyse plus précise.

La pondération spectrale $R(\lambda)$ entre 380 et 1 400 nm est représentée dans le diagramme 5.3.

Diagramme 5.3 — Pondération spectrale $R(\lambda)$



La valeur maximale de $R(\lambda)$ se situe entre 435 et 440 nm. Si les valeurs limites d'exposition sont respectées en supposant que l'émission de rayonnements globale entre 380 nm et 1 400 nm se situe aux environs de 440 nm [$R(\lambda)$ ayant 10 pour valeur maximale, ce qui correspond tout simplement à multiplier par 10 toutes les valeurs à pondérer], cette conformité sera confirmée lors d'une analyse plus précise.

Le tableau 1.1 de l'annexe I de la directive précise les valeurs limites d'exposition selon différentes longueurs d'onde. Plus d'une valeur limite d'exposition s'applique dans le cas de certaines bandes de longueurs d'onde. Aucune valeur limite d'exposition correspondante ne doit être dépassée.

5.3. Références

Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). Health Physics 87 (2): 171-186; 2004. «Lignes directrices sur les limites d'exposition aux ultraviolets de longueurs d'onde situées entre 180 nm et 400 nm (rayonnements optiques incohérents)»

Revision of the Guidelines on Limits of Exposure to Laser radiation of wavelengths between 400 nm and 1,4 μm . Health Physics 79 (4): 431-440; 2000. «Révision des recommandations concernant les limites d'exposition aux rayonnements laser de longueurs d'onde situées entre 400 nm et 1,4 μm »

Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0,38 to 3 μm). Health Physics 73 (3): 539-554; 1997. «Recommandations sur les limites d'exposition aux rayonnements optiques incohérents à large bande (0,38 à 3 μm)»

Guidelines on UV Radiation Exposure Limits. Health Physics 71 (6): 978; 1996. «Recommandations sur les limites d'exposition aux rayonnements UV»

Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1 mm. Health Physics 71 (5): 804-819; 1996. «Recommandations sur les limites d'exposition aux rayonnements laser de longueurs d'onde entre 180 nm et 1 mm»

6. Évaluation des risques conformément à la directive

La directive 89/391/CEE insiste notamment sur l'évaluation des risques. Le présent ouvrage présente la démarche articulée étape par étape de l'Agence européenne pour la santé et la sécurité au travail concernant l'analyse des risques.

Évaluation des risques étape par étape

Étape 1. Identification des risques et des personnes qui y sont exposées

Étape 2. Évaluation des risques et de leur importance

Étape 3. Élaboration des mesures préventives

Étape 4. Mise en place des mesures

Étape 5. Suivi et analyse

Une évaluation complète des risques doit tenir compte de tous les dangers associés au travail considéré. Toutefois, notre analyse en rapport avec la directive se limite aux risques dus aux rayonnements optiques. Pour certains appareils, des informations adéquates fournies par le fabricant permettent de conclure que les risques sont limités comme il convient. L'évaluation des risques n'entraîne donc pas forcément des dépenses importantes. En ce qui concerne les sources de rayonnement ne constituant qu'un risque négligeable, il n'est pas exigé de conserver des traces écrites de l'analyse du risque, sauf prescriptions légales nationales contraires. Les employeurs peuvent toutefois, s'ils le désirent, conserver des justificatifs de cette évaluation.

6.1. Étape 1. Identification des risques et des personnes à risque

Il convient d'identifier toutes les sources de rayonnement optique. Certains appareils sont déjà techniquement conçus pour éviter toute exposition au cours d'un usage normal. Il est toutefois nécessaire de tenir compte des risques potentiels d'exposition des travailleurs aux rayonnements optiques sur toute la durée de vie de l'appareil. Les travailleurs qui fabriquent du matériel à rayonnement optique courent plus de risques que les utilisateurs. Le cycle de vie d'un appareil ou dispositif émettant des rayonnements optiques s'articule généralement de la façon décrite ci-contre:

Cycle de vie du produit

1. Fabrication
2. Essais
3. Installation
4. Planification et conception
5. Mise en service
6. Fonctionnement normal
7. Pannes
8. Maintenance de routine
9. Entretien
10. Modification
11. Mise au rebut

L'exposition aux rayonnements optiques intervient généralement lorsque l'appareil fonctionne. Les points 1 à 3 ont lieu dans les locaux d'un autre employeur. Les points 4 à 10 ont habituellement lieu sur le lieu de travail normal. À remarquer que certaines parties du cycle de vie d'un produit ont un caractère périodique. Par exemple, un appareil faisant partie de l'équipement de travail peut exiger une vérification hebdomadaire avec entretien tous les six mois. Il peut être nécessaire de le remettre en service après chaque entretien. À d'autres moments, cette pièce d'équipement «fonctionne normalement».

L'employeur doit déterminer les groupes de travailleurs, internes ou externes à l'entreprise, qui risquent d'être exposés aux rayonnements optiques au cours de chacune des étapes du cycle de vie de l'appareil.

Étape 1

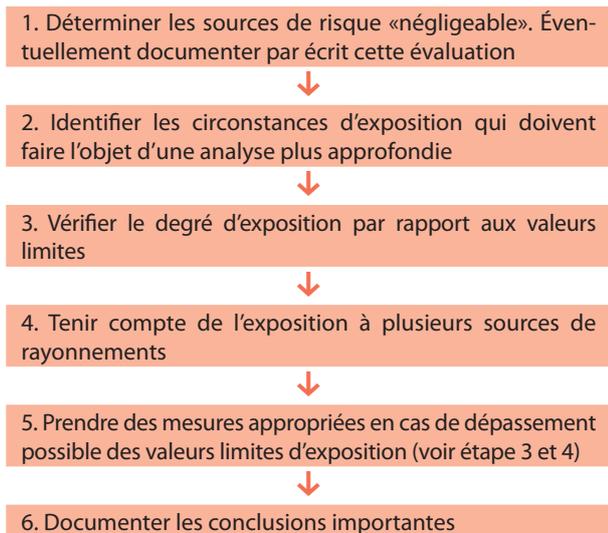
Enregistrer toutes les sources potentielles d'exposition à des rayonnements optiques artificiels et identifier les personnes qui risquent d'être exposées

6.2. Étape 2. Évaluation des risques et de leur importance

La directive fixe aux annexes I et II les valeurs limites d'exposition des travailleurs aux rayonnements optiques. De nombreuses sources de rayonnements optiques sur le lieu de travail sont sans danger, vous trouverez dans l'annexe D de ce guide des exemples spécifiques. Avant de conclure qu'une source de rayonnement présente un risque négligeable, il convient de prendre en compte le nombre de sources d'émission auxquelles le travailleur risque d'être exposé. Dans le cas d'une seule source de rayonnement, si l'exposition se chiffre à 20 % des valeurs limites fixées pour une journée complète de travail, alors on peut en conclure qu'elle présente un risque négligeable. Mais s'il y a 10 sources de rayonnements optiques, pour être considérée comme un risque négligeable, l'exposition à chacune d'elles doit être inférieure à 2 % des valeurs limites.

Il convient d'insister sur le fait que la directive exige d'éliminer ou de réduire au minimum les «risques». Ce qui ne signifie pas forcément que la quantité de rayonnements optiques doit être ramenée au minimum. De toute évidence, éteindre toutes les lumières va à l'encontre de la sécurité en augmentant les risques de se blesser.

Voici une démarche d'évaluation des risques:



Déterminer le risque d'exposition, c'est-à-dire dans quelle mesure il peut y avoir exposition, n'est pas forcément facile. Il peut y avoir sur le lieu de travail un faisceau laser parfaitement collimaté qui ne présente qu'un risque

d'exposition minimale. Toutefois, toute exposition éventuelle peut avoir de graves incidences. En revanche, pour ce qui est de nombreuses sources artificielles de rayonnements optiques incohérents, les risques d'exposition sont peut-être élevés mais avec des incidences minimales.

Dans la plupart des cas, il n'est pas nécessaire de quantifier les risques d'exposition au-delà d'une évaluation basée sur le «bon sens» distinguant risques élevés, risques modérés et risques minimes.



La directive ne définit pas le terme «susceptible» dans «susceptible d'être exposé». Ainsi, sauf exigence légale nationale, il convient de baser cette évaluation sur le bon sens.

Étape 2

Éventuellement documenter l'identification des sources de rayonnement présentant un risque négligeable

Enregistrer les sources susceptibles de dépasser les valeurs limites d'exposition

Estimer le risque

Prendre en considération les travailleurs hypersensibles à la lumière

Accorder la priorité aux mesures préventives à appliquer aux sources de rayonnements optiques susceptibles de dépasser les valeurs limites d'exposition pour les travailleurs

Bien qu'il soit possible, à partir des valeurs limites d'exposition aux rayonnements ultraviolets, de calculer l'éclairement énergétique maximal auquel un travailleur peut être exposé au cours d'une journée de travail, une exposition quotidienne n'est pas recommandée. Plutôt que de travailler aux valeurs limites prescrites, il convient d'envisager de réduire le plus possible les expositions aux rayons ultraviolets.

6.3. Étape 3. Élaboration de mesures préventives

Vous trouverez au chapitre 9 de ce guide des conseils sur les mesures qui peuvent être prises pour minimiser les risques d'exposition aux rayonnements optiques artificiels. Il est préférable d'adopter des mesures préventives collectives plutôt qu'individuelles.

Étape 3

Élaborer les mesures préventives appropriées

Enregistrer les raisons justifiant le choix adopté

6.4. Étape 4. Mise en place des mesures

Il faut absolument mettre en œuvre les mesures préventives. Une estimation des risques dus aux rayonnements optiques artificiels permettra de déterminer si le travail peut continuer en prenant des précautions jusqu'à la mise en œuvre des mesures préventives, ou s'il convient d'arrêter le travail et de ne le reprendre qu'une fois ces mesures en place.

Étape 4

Décider si le travail peut ou non continuer

Mettre en œuvre les mesures préventives

Informers les travailleurs concernant les risques et les mesures préventives prises

6.5. Étape 5. Suivi et réexamen

Il est important de déterminer si les risques ont été correctement évalués et si les mesures préventives prises sont appropriées. Il convient également de procéder à une nouvelle analyse des risques en cas de changement concernant les sources artificielles de rayonnements optiques ou les modes de travail.

Les travailleurs qui sont hypersensibles à la lumière ne le savent pas forcément, et certains peuvent le devenir après que l'évaluation des risques a été faite. Toutes les informations de ce type rapportées par les travailleurs doivent être enregistrées et, le cas échéant, faire l'objet d'une surveillance de santé (voir le chapitre 11 de ce guide). Il peut être nécessaire de changer la ou les sources artificielles de rayonnements optiques ou de modifier les procédés et méthodes de travail.

Étape 5

Décider de la fréquence appropriée du réexamen de routine, par exemple tous les 12 mois

S'assurer de procéder à une réévaluation en cas de changement, comme l'introduction de nouveau matériel à rayonnement, la modification de procédés et de méthodes de travail, ou en cas d'incidents posant problème

Enregistrer la réévaluation et les conclusions qui en résultent

6.6. Références

Agence européenne pour la santé et la sécurité au travail:
<http://osha.europa.eu/en/topics/riskassessment>.

7. Mesure des rayonnements optiques

7.1. Prescriptions de la directive

Il est possible de mesurer les rayonnements optiques dans le cadre de l'évaluation des risques. L'article 4 de la directive stipule les exigences concernant l'évaluation des risques, à savoir:

«... l'employeur, dans le cas des travailleurs exposés à des sources artificielles de rayonnement optique, évalue et, si nécessaire, mesure et/ou calcule les niveaux de rayonnement optique auxquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés ...»

Ce texte permet à l'employeur de déterminer le degré d'exposition des travailleurs en utilisant des moyens autres que le mesurage, c'est-à-dire sur la base de calculs (en utilisant les données fournies par un tiers, comme par exemple le fabricant).

Il n'est pas nécessaire de mesurer les rayonnements si des informations adéquates peuvent être obtenues. Cette solution doit être privilégiée car mesurer des rayonnements optiques sur le lieu de travail est complexe. Les appareils de mesure sont souvent assez chers et ne peuvent être utilisés correctement que par une personne qualifiée. Une personne inexpérimentée peut facilement commettre des erreurs et ainsi fournir des données très inexactes. En outre, l'évaluation des risques requiert souvent de combiner les données en termes de temps et de mouvements associés aux tâches accomplies.

7.2. Consultation de services spécialisés

À moins que l'employeur ne décide d'acheter l'équipement spécial voulu pour mesurer les rayonnements optiques et qu'il ait l'expertise requise pour s'en servir, il est nécessaire de faire appel à des services spécialisés.

Il est possible de se procurer des appareils de mesure appropriés (ainsi que les services experts voulus) auprès des:

- établissements nationaux de santé et de sécurité;
- centres de recherche (notamment les centres universitaires comprenant un département consacré à l'optique);
- fabricants d'appareils de mesure optique (et éventuellement leurs distributeurs);
- conseillers experts en santé et en sécurité au travail appartenant au secteur privé.

En cas de consultation d'un de ces prestataires possibles, il ne faut pas oublier qu'ils devraient être en mesure de prouver:

- leur connaissance des limites d'exposition et de leur mise en application;
- la disposition d'équipement capable de mesurer toutes les bandes de longueurs d'onde voulues;
- leur expérience dans l'utilisation de tels appareils;
- leur usage d'une méthode d'étalonnage des appareils avec référence possible à des normes nationales en vigueur;
- leur capacité à estimer toute incertitude éventuelle pour chaque mesure effectuée.

Il est essentiel que tous ces critères soient respectés, autrement l'évaluation des risques peut être compromise pour la ou les raisons suivantes:

- non-application ou application inadéquate des limites correctes;
- non-obtention des données nécessaires pouvant être comparées à toutes les limites appropriées;
- grosses erreurs commises dans les valeurs numériques des données;
- utilisation de données impossibles à comparer avec les limites appropriées et ne permettant pas d'aboutir à une conclusion catégorique.

8. Utilisation des informations fournies par les fabricants

Compte tenu de la grande diversité d'appareils et d'équipements à rayonnement optique, les risques liés à leur utilisation varient considérablement. Les informations fournies par les fabricants de matériel à rayonnement optique devraient faciliter l'évaluation des risques et la prise de mesures préventives appropriées. Les précisions concernant la classe d'appareils à rayonnement, lasers et autres, correspondant aux normes de sécurité, ainsi que les distances à respecter constituent des informations particulièrement utiles pour l'évaluation des risques.

8.1. Classification en matière de sécurité

Les classifications normalisées des appareils lasers et autres à rayonnement optique indiquent les risques potentiels pour la santé. Selon les conditions d'utilisation, la durée d'exposition ou l'environnement, ces appareils peuvent effectivement nuire ou ne pas nuire à la santé. Cette classification permet aux utilisateurs de prendre des mesures appropriées pour minimiser ces risques.

8.1.1. Classification des lasers

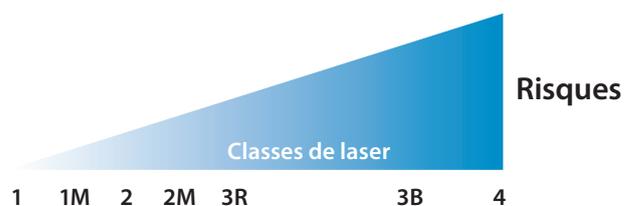
La classification des lasers repose sur le concept de la limite d'émission accessible (LEA), spécifiée pour chaque classe de laser. La LEA prend non seulement en compte l'émission du laser mais aussi l'accès des utilisateurs à cette émission. Les lasers sont divisés en 7 classes: plus le chiffre est élevé, plus les risques sont grands. Ces risques peuvent être considérablement réduits en prenant des mesures préventives, dont notamment l'usage de dispositifs techniques supplémentaires comme une enceinte de confinement.

Informations pratiques:

Le suffixe M dans classe 1M et classe 2M signifie «Magnifying optical viewing instruments» (instruments optiques grossissants)

Le suffixe R dans classe 3R signifie «Reduced ou Relaxed requirements» (exigences réduites ou moins contraignantes): les normes ayant été réduites pour le fabricant (ex. serrure à contact, système d'arrêt ou d'atténuation du faisceau et dispositif de verrouillage non exigés) et l'utilisateur

Le suffixe B dans classe 3B a un caractère historique



8.1.1.1. Classe 1

Les lasers de cette classe sont considérés comme pouvant être utilisés sans danger, y compris à long terme avec vision directe dans le faisceau même avec l'usage d'instruments optiques (comme une loupe ou des jumelles). En cas d'usage dans des conditions normales, les utilisateurs de lasers de classe 1 ne font généralement pas l'objet d'une évaluation des risques d'exposition à des rayonnements. Durant l'entretien ou la réparation de l'appareil, la puissance d'émission accessible peut être plus élevée.

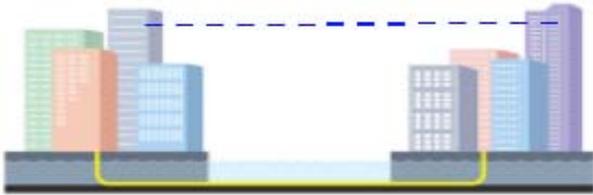


Cette classe inclut les appareils à laser puissants avec enveloppe protectrice évitant toute exposition des utilisateurs aux rayonnements et qu'il est impossible d'ouvrir sans les éteindre au préalable, ou encore qui exigent d'utiliser certains outils pour accéder au faisceau laser:

- imprimantes laser,
- lecteurs et enregistreurs de CD et DVD,
- lasers servant au traitement de matériaux.

8.1.1.2. Classe 1M

Dans cette classe se retrouvent les lasers sans danger pour l'œil nu dans des conditions d'utilisation prévisibles, mais qui peuvent présenter des risques si l'utilisateur emploie un instrument optique dans le faisceau (ex. loupe ou télescope).



Exemple: un système de communication à fibre optique déconnecté.



La vision directe dans le faisceau visible émis par des lasers de classes 1 et 1M peut cependant éblouir, en particulier en milieu peu éclairé.

8.1.1.3. Classe 2

La classe 2 regroupe les appareils lasers qui émettent des rayonnements visibles et qui ne présentent pas de danger en cas d'exposition momentanée, même si l'utilisateur emploie un instrument optique, mais qui peuvent toutefois être dangereux si l'utilisateur fixe le regard directement dans le faisceau. Ce type de laser n'est pas totalement sans danger pour les yeux mais est considéré comme tel en raison des réflexes de protection naturels, comme notamment les mouvements de tête et les clignements de paupières.



Exemple: lecteurs de codes barres.

8.1.1.4. Classe 2M

Les lasers de cette classe émettent des rayonnements visibles et ne sont pas dangereux en cas d'exposition de courte durée de l'œil nu; ils peuvent toutefois blesser les yeux si l'utilisateur emploie une loupe ou un télescope. La protection des yeux est normalement assurée par les réflexes oculaires naturels, dont les clignements de paupières.

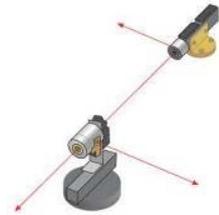


Exemple: instruments d'arpentage utilisés dans le génie civil.

8.1.1.5. Classe 3R

La vision directe dans le faisceau de lasers de cette classe est potentiellement dangereuse, mais, dans la pratique, les risques de lésions sont la plupart du temps minimales en cas d'exposition involontaire de courte durée. L'emploi de lasers de cette classe par des personnes non qualifiées est toutefois dangereux. Les risques sont limités grâce aux réflexes oculaires face à la lumière forte pour ce qui est des rayonnements visibles et aux réflexes naturels de protection de la cornée pour ce qui est de la chaleur émise par les infrarouges.

Les lasers de classe 3R ne doivent être utilisés que lorsque la vision directe dans le faisceau est peu probable.



Exemples: instruments et appareils d'arpentage, pointeurs laser haute puissance, lasers d'alignement.

Le réflexe de protection n'existe pas chez tous les utilisateurs.

Le faisceau de lasers de classe 2 et 2M ou le faisceau visible de lasers de classe 3R peut éblouir, aveugler par éclairs et créer une post-image, en particulier en milieu peu éclairé. La perte de vision momentanée ou les réactions de surprise que ces appareils peuvent causer risquent indirectement de menacer la sécurité sur un plan général. Les troubles de la vue peuvent poser un problème surtout lors de l'exécution de tâches dangereuses, par exemple sur machines ou en hauteur, avec des sources de haute tension ou lors de la conduite de véhicules.



8.1.1.6. Classe 3B

Lasers dangereux pour les yeux en cas de vision directe dans le faisceau dans la distance nominale de risque oculaire ou DNRO (voir point 8.4.1).



Les réflexions diffuses sont normalement sans danger, à condition que l'œil soit exposé moins de 10 secondes à 13 cm au minimum de la surface de diffusion. Les lasers proches de la limite supérieure de la classe 3B peuvent causer des lésions cutanées mineures ou risquent même d'enflammer des matériaux inflammables.

Exemples: lasers utilisés en physiothérapie, instruments et appareils pour la recherche en laboratoire.

Exemples: appareils de projection laser, laser chirurgical et laser pour découper les métaux.

8.1.1.7. Classe 4

Lasers pouvant produire des réflexions diffuses dangereuses. En cas de non-respect des distances de sécurité et de vision ou d'exposition directe, ils peuvent provoquer des lésions oculaires et cutanées. Ces lasers constituent souvent un risque d'incendie.



Avant d'utiliser des lasers des classes 3B et 4, il est impératif de procéder à une évaluation des risques afin d'élaborer et de prendre les mesures préventives nécessaires.

Tableau 8.1. Récapitulatif des contrôles nécessaires selon les classes de laser

	Classe 1	Classe 1M	Classe 2	Classe 2M	Classe 3R	Classe 3B	Classe 4
Description des classes de laser	Sans danger dans des conditions raisonnablement prévisibles	Sans danger pour l'œil nu; peuvent être dangereux si l'utilisateur emploie un instrument optique	Sans danger en cas d'exposition de courte durée; protection de l'œil grâce aux réflexes naturels	Sans danger pour l'œil nu en cas d'exposition de courte durée; peuvent être dangereux si l'utilisateur emploie un instrument optique	Risques de lésions relativement faibles; peuvent toutefois être dangereux en cas d'usage incorrect par une personne non qualifiée	Vision directe dangereuse	Dangereux pour les yeux et la peau; risque d'incendie
Protection	Pas obligatoire	Localisée ou par enceinte	Pas obligatoire	Localisée ou par enveloppe protectrice	Enceinte	Enceinte + verrouillage	Enceinte + verrouillage
Clé de sécurité	Pas obligatoire	Pas obligatoire	Pas obligatoire	Pas obligatoire	Pas obligatoire	Obligatoire	Obligatoire
Formation	Se conformer aux instructions d'emploi du fabricant	Recommandée	Se conformer aux instructions d'emploi du fabricant	Recommandée	Obligatoire	Obligatoire	Obligatoire
EPI	Pas obligatoire	Pas obligatoire	Pas obligatoire	Pas obligatoire	Dépend des risques établis	Obligatoire	Obligatoire
Mesures préventives	Inutiles en cas d'usage normal	Empêcher l'usage d'instruments optiques grossissants, réglables ou de collimateurs	Ne pas fixer le regard dans le faisceau	Ne pas fixer le regard dans le faisceau. Empêcher l'usage d'instruments optiques grossissants, réglables ou de collimateurs	Empêcher toute exposition directe de l'œil	Empêcher toute exposition de l'œil et de la peau au faisceau. Protéger contre les réflexions involontaires	Empêcher toute exposition directe de l'œil et de la peau au faisceau et aux réflexions diffuses

Limitation de la classification des lasers

La classification des lasers est basée sur l'émission accessible de rayonnements mais ne prend pas en compte d'autres dangers comme ceux liés à l'électricité, les effets collatéraux des rayonnements, les émanations, le bruit, etc.

Cette classification suppose un usage normal de l'appareil et peut ne pas être applicable aux interventions de maintenance ou lors de réparations, ou encore si le dispositif fait partie intégrante d'une installation complexe.

Les indications par classe de laser se réfèrent à un seul appareil et ne tiennent pas compte de l'effet cumulatif possible d'exposition à plusieurs sources de rayonnement.

8.1.2. Classification des sources de rayonnements incohérents

Les normes NF EN 62471: 2008 fixent la classification des sources de rayonnements incohérents (du spectre à large bande) basée sur l'émission accessible de rayonnement maximale de l'appareil en cours de fonctionnement à tous les niveaux de puissance et à tout moment une fois fabriqué. Cette classification tient compte de la quantité de rayonnements optiques émis, de la longueur d'onde d'émission et de l'accès des personnes aux rayonnements. Ces sources de rayonnements à large bande spectrale sont classées en 4 catégories de risques: plus le chiffre de la catégorie est élevé, plus les risques sont grands.

Cette classification indique les risques potentiels pour la santé. Selon les conditions d'utilisation, la durée d'exposition ou l'environnement, ces appareils peuvent effectivement nuire ou ne pas nuire à la santé. Cette classification permet aux utilisateurs de prendre des mesures appropriées pour minimiser ces risques.

Les catégories de risques sont classées dans l'ordre croissant de danger:

- Catégorie exemptée — sans danger photobiologique dans des conditions prévisibles.
- Catégorie 1: risques faibles, le danger étant limité par les réflexes normaux de protection en cas d'exposition.
- Catégorie 2: risques modérés, le danger étant réduit par les réflexes normaux de protection face à la lumière particulièrement forte. Ces réflexes n'existent toutefois pas chez tous les utilisateurs.
- Catégorie 3: risques importants. Dangereux même en cas d'exposition de courte durée ou momentanée.

Risques

Sources de rayonnements à large bande spectrale

Catég. exemptée Catég. 1 Catég. 2 Catég. 3

Au sein de chaque catégorie de risques, différentes durées sont précisées pour chaque danger. Ces critères ont été définis de façon à respecter la valeur limite d'exposition selon la durée.

8.1.2.1. Catégorie de sources de rayonnement exemptées

Aucun risque directement dû aux rayonnements optiques n'est raisonnablement prévisible, même en cas d'usage continu et illimité. Ces sources de rayonnement ne présentent pas, dans la limite des durées d'exposition indiquées ci-dessous, de danger de nature photobiologique sous forme:

- de risque relatif aux ultraviolets actiniques (< 8 heures);
- d'incidences liées aux UV proches (< 1 000 s);
- de risque de lésion rétinienne due à l'exposition à la lumière bleue (< 10 000 s);
- de brûlure rétinienne (< 10 s);
- de risque de lésion de l'œil due aux infrarouges (< 1 000 s);
- d'incidence due aux infrarouges sans forte stimulation visuelle (< 1 000 s).

Exemples: éclairages domestique et de bureau, écrans d'ordinateur, appareils d'affichage, voyants lumineux.



8.1.2.2. Catégorie de risque 1 — risque minimale

Ces appareils ne présentent généralement pas de risque, excepté lors d'une exposition prolongée auquel cas une exposition oculaire directe est inévitable. Ces sources ne posent aucun des risques suivants étant donné les limites de comportement normal lors d'une exposition:

- risque relatif aux ultraviolets actiniques 10 000 s;
- risque lié aux ultraviolets proches jusque 300 s;
- risque de lésion rétinienne lié à la lumière bleue jusque 100 s;
- risque de lésion de l'œil dû aux infrarouges jusque 100 s;
- incidence due aux infrarouges sans forte stimulation visuelle jusque 100 s.



Exemple: lampe de poche

8.1.2.3. Catégorie de risque 2 — risque modéré

Ce groupe comprend les sources qui ne posent pas les risques suivants grâce au réflexe naturel de protection contre la lumière brillante, à cause de l'inconfort thermique ou parce que les expositions de longue durée n'ont jamais lieu:

- risque lié aux ultraviolets actiniques jusque 1 000 s;
- risque lié aux ultraviolets proches de 100 s;
- risque de lésion rétinienne lié à la lumière bleue jusque 0,25 s (réflexe de protection);
- risque thermique rétinéen jusque 0,25 s (réaction d'aversion);
- risque oculaire lié aux rayonnements infrarouges jusque 10 s;
- risque lié aux infrarouges sans forte stimulation visuelle jusque 10 s.

8.1.2.4. Catégorie de risque 3 — risque élevé

Ce groupe comprend les sources pouvant poser un risque même lors d'une exposition momentanée ou brève dans les limites de la distance limite. Il est donc impératif de mettre en œuvre des mesures de sécurité préventives.



Il est possible de minimiser les risques et effets du rayonnement optique grâce au filtrage des rayonnements optiques excessifs et indésirables (par exemple les UV), au blindage de la source afin d'éviter le contact avec les rayonnements optiques ou à l'emploi d'appareils optiques d'étalement de faisceau.

Limites de la classification des sources large bande

La classification de sécurité est afférente aux rayonnements optiques accessibles — elle ne tient pas compte des risques complémentaires, tels l'électricité, les rayonnements latéraux, la fumée, le bruit, etc.

La classification de sécurité est afférente à l'usage normal de l'appareil — elle ne s'applique pas nécessairement à la maintenance ou l'entretien, ou lorsque l'appareil original fait partie intégrante d'une installation complexe.

La classification de sécurité est afférente à un seul appareil — elle ne tient pas compte de l'exposition cumulative de sources multiples.

La classification des appareils est faite à une distance produisant une luminance de 500 lx pour les systèmes d'illumination générale et de 200 mm pour les sources d'autres systèmes — elle peut ne pas couvrir toutes les conditions d'utilisation

8.1.3. Classification des machines

Tout équipement produisant un rayonnement optique peut aussi être classifié selon la norme NF EN 12198. Celle-ci s'applique à toute émission, intentionnelle ou non, mais non aux sources uniquement utilisées pour l'illumination.

L'équipement est classé en trois catégories, selon l'émission accessible. Ces trois catégories sont énumérées dans le tableau 8.2 dans l'ordre croissant des risques qu'elles présentent.

Tableau 8.2. Classification de sécurité de l'équipement conformément à la norme NF EN 12198

Catégorie	Restrictions et mesures préventives	Information et formation
0	Aucune restriction	Aucune information nécessaire
1	Restrictions: limitation de l'accès, mesures préventives parfois nécessaires	Les informations concernant les risques, dangers et effets nocifs doivent être fournies par le fabricant
2	Restrictions spécifiques et mesures préventives indispensables	Les informations concernant les risques, dangers et effets nocifs doivent être fournies par le fabricant. Une formation sera parfois nécessaire

La classification d'une machine dans une de ces catégories sera basée sur les quantités radiométriques efficaces du tableau 8.3 ci-après, lesdites quantités étant mesurées à une distance de 10 cm.

Tableau 8.3. Limites d'émission pour la classification de l'équipement conformément à la norme NF EN 12198

E_{eff}	E_b	L_b	E_R	Catégorie
	(pour $\alpha < 11$ mrad)	(pour $\alpha \geq 11$ mrad)		
$\leq 0,1 \text{ mW m}^{-2}$	$\leq 1 \text{ mW m}^{-2}$	$\leq 10 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$\leq 33 \text{ W m}^{-2}$	0
$\leq 1,0 \text{ mW m}^{-2}$	$\leq 10 \text{ mW m}^{-2}$	$\leq 100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$\leq 100 \text{ W m}^{-2}$	1
$> 1,0 \text{ mW m}^{-2}$	$> 10 \text{ mW m}^{-2}$	$> 100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$> 100 \text{ W m}^{-2}$	2

8.2. Informations relatives aux distances et valeurs utilisées pour l'évaluation des risques

Il peut être utile de connaître la distance sur laquelle s'étendent les risques liés aux rayonnements optiques émis par certains équipements.

La distance pour laquelle le niveau d'exposition est retombé au niveau de la valeur limite d'exposition applicable s'appelle la distance de risque: il n'existe aucun risque au-delà de cette distance. Cette information, lorsque fournie par les fabricants, peut s'avérer utile pour l'évaluation des risques et la mise en œuvre d'un environnement de travail sûr.

8.2.1. Lasers — Distance nominale de risque oculaire

À certaines distances, lorsque le faisceau laser diverge, l'éclairement énergétique est égal à la valeur limite d'exposition relative aux yeux. Cette distance est nommée «distance nominale de risque oculaire». La valeur limite d'exposition ne sera pas dépassée à de plus grandes distances, le faisceau laser ne sera donc pas considéré comme dangereux au-delà de cette distance.

Les fabricants fournissent souvent des informations sur les distances nominales de risque oculaire dans leur fiche technique. Si cette information n'est pas disponible, il est possible de calculer cette distance à l'aide des paramètres suivants pour le rayonnement laser à partir des données du fabricant:

- Flux énergétique (W)
- Diamètre du faisceau initial (m)
- Divergence (radians)
- Valeur limite d'exposition (VLE) (W m^{-2})

Bien que cela puisse sembler complexe lorsque la distance est importante ou que le faisceau n'est pas circulaire, l'équation suivante permet d'obtenir une estimation satisfaisante de la distance nominale de risque oculaire:

$$\text{NOHD} = \sqrt{\frac{4 \times \text{flux énergétique}}{\pi \times \text{VLE}} - \frac{\text{Diamètre initial}}{\text{divergence}}}$$

8.2.2. Source large bande — Distance et valeur de risque

La distance pour laquelle le niveau d'exposition est retombé au niveau de la valeur limite d'exposition applicable s'appelle la distance de risque: il n'existe aucun risque au-delà de cette distance. La distance de risque doit être prise en compte afin de spécifier les limites de l'endroit dans lequel l'exposition aux rayonnements optiques et l'activité du personnel sont soumises à des mesures de contrôle et de surveillance afin de fournir une protection adéquate contre les rayonnements optiques. Les distances de risque sont parfois définies par rapport à l'exposition de la peau ou des yeux.

$$\text{HV (distance, temps d'exposition)} = \frac{\text{Niveau d'exposition (distance temps d'exposition)}}{\text{Valeur limite d'exposition}}$$

Les informations concernant les risques de rayonnements optiques sont parfois présentées sous la forme de valeur de risque, c'est-à-dire le taux du niveau d'exposition à une distance spécifique par rapport à la valeur limite d'exposition à cette distance:

La valeur de risque est d'une importance pratique considérable. Si la valeur de risque est supérieure à 1, elle indique les mesures préventives appropriées à mettre en œuvre: afin de limiter soit la durée d'exposition, soit l'accessibilité d'une source (atténuation, distance), selon le cas. Si la valeur de risque est inférieure à 1, la valeur limite d'exposition n'est pas dépassée à cet endroit pour le temps d'exposition en question.

Les fabricants fournissent souvent les informations afférentes aux distances et valeurs de risques avec la fiche technique. Ces informations permettront à l'utilisateur d'effectuer l'évaluation des risques ainsi que de sélectionner les mesures préventives nécessaires.

8.3. Informations supplémentaires

EN 60825-1: 2007. Sécurité des appareils à laser. Partie 1: classification des matériels et exigences

IEC TR 60825-14: 2004. Sécurité des appareils à laser. Partie 14: mode d'emploi

EN 62471: 2008. Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes

EN 12198-1: 2000. Sécurité des machines — Estimation et réduction des risques engendrés par les rayonnements émis par les machines — Partie 1: principes généraux

EN 12198-2: 2002. Sécurité des machines — Estimation et réduction des risques engendrés par les rayonnements émis par les machines — Partie 2: procédure de mesurage des émissions de rayonnement

EN 12198-3: 2000. Sécurité des machines — Estimation et réduction des risques engendrés par les rayonnements émis par les machines — Partie 3: réduction du rayonnement par atténuation ou par écrans

9. Mesures préventives

Le classement des mesures préventives est fondé sur le principe que, si un risque est identifié, celui-ci doit alors être évité à l'aide d'une conception technique. Si cela s'avère impossible, une différente méthode de protection doit être mise en œuvre. Les équipements de protection individuelle et procédures administratives sont rarement nécessaires.

La sélection des mesures appropriées dans tous les cas doit s'effectuer selon le résultat de l'évaluation des risques. Il est alors indispensable de réunir toutes les informations disponibles afférentes aux sources de rayonnement optique et à l'exposition possible des personnes. En général, il est possible d'effectuer l'évaluation de l'exposition aux rayonnements optiques sur le lieu de travail en comparant l'exposition aux rayonnements indiquée sur la fiche technique du matériel ou mesurée avec les valeurs limites d'exposition pertinentes. Ainsi il est possible de déterminer clairement si les valeurs limites d'exposition sont dépassées.

S'il est possible d'établir clairement que l'exposition aux rayonnements optiques est insignifiante et que les valeurs limites d'exposition ne seront pas dépassées, aucune action supplémentaire n'est nécessaire.

Si les émissions sont importantes et/ou si le nombre de personnes dans le local est élevé, il se peut que les limites soient dépassées, auquel cas certaines mesures préventives devront être mises en œuvre. Cette procédure d'évaluation doit être renouvelée après la mise en pratique des mesures préventives.

De nouveaux relevés et une nouvelle évaluation s'avèreront parfois nécessaires lorsque:

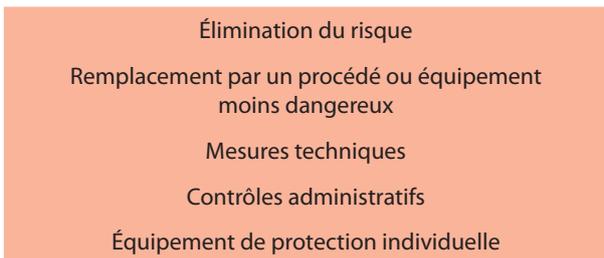
- la source de rayonnement a changé (par exemple lors de l'installation d'une autre source ou si la source opère sous différentes conditions d'exploitation);
- le type de travail a changé;
- la durée d'exposition a changé;
- les mesures préventives ont été appliquées, révoquées ou modifiées;
- une longue période de temps s'est écoulée depuis les derniers mesurages et la dernière évaluation, les résultats étant alors caducs;

- un ensemble différent de valeurs limites d'exposition s'applique.

Les mesures préventives appliquées lors de la conception et de l'installation peuvent offrir des bénéfices importants en matière de sécurité et d'exploitation. La mise en œuvre ultérieure de ces mesures préventives peut s'avérer onéreuse.

9.1. Classement des mesures préventives

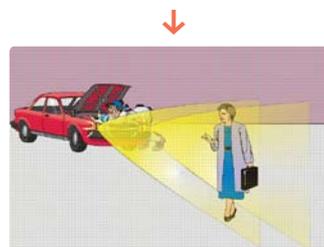
Lorsqu'il y a risque d'exposition supérieure aux valeurs limites d'exposition, le risque doit être géré par la mise en pratique de diverses mesures préventives appropriées. Les mesures préventives sont classées par ordre de priorité afin de faciliter la gestion des risques:



9.2. Élimination des risques

La source de rayonnement optique dangereuse est-elle vraiment nécessaire?

Ces phares ont-ils vraiment besoin d'être allumés?

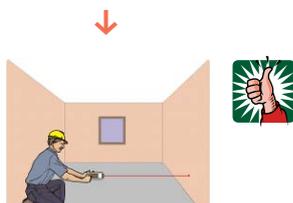


9.3. Remplacement par un procédé ou équipement moins dangereux

Le niveau dangereux du rayonnement optique est-il nécessaire?



Doit-il être aussi puissant?



9.4. Contrôles techniques

Est-il possible de modifier l'équipement, de contrôler le rayonnement optique dangereux ou de réduire son émission à la source?

S'il n'est pas possible d'appliquer les mesures de première priorité (élimination ou remplacement), il est alors préférable d'avoir recours aux moyens techniques de réduction d'exposition. Il est possible de mettre en pratique des contrôles administratifs en association avec des mesures préventives plus strictes. Si la réduction de l'exposition personnelle s'avère impossible, incomplète ou irréalisable, l'équipement de protection individuelle (EPI) doit être utilisé en dernier recours.

Encastrement de protection Enceintes Verrouillages Interrupteurs à exécution retardée	Voyants lumineux Signaux audio	Atténuateurs Obturbateurs Fenêtres de visualisation et à filtre Élimination des reflets
	Télécommandes Aides d'alignement	

9.4.1. Prévention de l'accès

Peut être effectuée à l'aide de protecteurs fixes ou mobiles avec verrouillage. Les protecteurs fixes sont en général installés sur les pièces de l'équipement dont l'accès n'est pas fréquent et sont fixés de manière permanente.

En cas de nécessité d'accès, il est possible d'utiliser un protecteur mobile dont l'ouverture est verrouillée au procédé.

Important

Les protecteurs doivent être adéquats et robustes.

Ils ne doivent pas poser de risques supplémentaires et doivent gêner le moins possible.

➤ Ils ne doivent pas être faciles à contourner ou à mettre hors d'état de marche — dans le cas d'une enceinte fixe.

Ils doivent être installés à une distance appropriée de la zone de danger — dans le cas d'un protecteur fixe pour maintien à distance.

9.4.2. Protection en limitant l'exploitation

Lorsque l'accès est fréquemment nécessaire, les protecteurs peuvent s'avérer trop restrictifs, en particulier si l'opérateur doit effectuer des manœuvres de chargement/déchargement ou d'ajustement. Dans ce cas, il est habituel d'utiliser des capteurs afin de détecter la présence ou l'absence d'un opérateur ou de déclencher la commande d'arrêt pertinente. Ils sont classés en tant que dispositifs de déclenchement: ils ne restreignent pas l'accès mais le détectent. Le temps nécessaire pour que la machine atteigne une condition sûre détermine l'emplacement et la proximité de tout capteur.

9.4.3. Arrêts d'urgence

Lorsque le personnel a accès à un environnement dangereux, il est impératif de fournir des dispositifs d'arrêt d'urgence au cas où un membre du personnel rencontrerait des difficultés dans la zone de danger. L'arrêt d'urgence doit s'enclencher rapidement et arrêter tous les services dans la zone de danger. La plupart des gens reconnaissent les gros boutons champignons rouges d'arrêt d'urgence; un nombre suffisant d'entre eux doit être placé dans les locaux de manière à ce qu'il y en ait toujours un à portée de main, ou un fil rattaché à un bouton d'arrêt d'urgence, une alternative de protection plus pratique en général dans une zone de danger. D'autres types d'interrupteurs peuvent être installés près des pièces mobiles, tels les barres de sécurité ou interrupteurs à bascule; ceux-ci captent les proximités inhabituelles.

9.4.4. Verrouillages

Il existe divers commutateurs d'enclenchement, chaque conception ayant ses propres caractéristiques. Il est important de choisir le dispositif adapté à l'équipement.

Important

Les commutateurs d'enclenchement doivent être correctement conçus et fonctionner parfaitement dans les conditions extrêmes prévisibles.

Ils doivent comprendre un mécanisme à sûreté intégrée et être inviolables.

➤ L'état du commutateur d'enclenchement doit être clairement indiqué, par exemple à l'aide de larges signaux sur les touches d'invalidation et de signaux d'avertissement d'état sur les panneaux des opérateurs.

Le commutateur d'enclenchement doit limiter les exécutions lorsque la porte du protecteur n'est pas entièrement fermée.

Informations complémentaires

- EN 953: 1997 — Sécurité des machines, protecteurs, prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles
- EN 13857: 2008 — Sécurité des machines — Distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses
- EN 349: 1993 — Sécurité des machines — Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain
- EN 1088: 1995 — Dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs
- EN 60825-4: 2006 — Protecteurs pour lasers

9.4.5. Filtres et fenêtres de visualisation

La majorité des procédés industriels peuvent s'effectuer en milieu partiellement ou entièrement clos. Il est alors possible de surveiller le procédé à distance, à travers une fenêtre de visualisation, à l'aide d'équipements optiques ou d'une caméra de télévision. La sécurité peut être assurée grâce à l'utilisation de filtres appropriés afin de bloquer la transmission de niveaux dangereux de rayonnements optiques. Il n'est alors plus nécessaire d'utiliser de lunettes de protection, la sécurité de l'opérateur et les conditions de travail étant nettement améliorées.

Les exemples comprennent aussi bien des pièces de contrôle de grande taille que les fenêtres de visualisation d'une petite enceinte localisée autour d'une zone d'interaction.

Important

➤ Le matériau de filtrage doit être durable et applicable.

Il doit être résistant aux chocs.

Il ne compromet pas la sûreté de l'opération.



Panneaux de visualisation dans la zone protégée

Le risque potentiel de transmission de rayonnements optiques à travers les fenêtres et autres panneaux translucides doit être évalué. Bien que le faisceau optique ne présente pas nécessairement de risque de lésion rétinienne directe, les flashes momentanés peuvent engendrer des problèmes de sécurité secondaires en association avec d'autres procédures à proximité.

9.4.6. Aides à l'alignement

Lorsque la maintenance de routine nécessite l'alignement des composants de la trajectoire du faisceau, il est impératif de fournir des moyens sûrs de l'effectuer. Par exemple:

- l'utilisation d'un laser de mire de puissance inférieure aligné sur l'axe du faisceau de puissance supérieure,
- des masques ou cibles.

Important



Ne jamais utiliser l'œil ou le derme humain pour faciliter l'alignement.

9.5. Mesures administratives

Les contrôles administratifs constituent la deuxième étape des mesures préventives. Ils dépendent de l'action prise par le personnel conformément aux informations disponibles; par conséquent, leur efficacité repose sur les actions de ces personnes. Toutefois, ils jouent leur propre rôle et représentent parfois la mesure préventive principale dans certaines circonstances, par exemple lors de la maintenance ou de la mise en service.

Les contrôles administratifs établis dépendent du risque et comprennent la nomination de personnel au sein de la

structure de gestion de la sécurité, la restriction de l'accès, les panneaux et étiquettes d'avertissement ainsi que les procédures pertinentes.

Le bon sens dicte la mise en place de dispositions formelles pour une approche intégrale de la sécurité relative aux rayonnements optiques. Ces dispositions doivent être documentées afin de montrer clairement les mesures adoptées et leurs objectifs. Cette documentation s'avérera également utile lors de l'investigation d'un incident. Elle peut inclure:

- une déclaration de la politique de sécurité relative aux rayonnements optiques;
- un résumé des dispositions organisationnelles principales (nomination et responsabilité de chaque personne nommée à chaque poste);
- une copie détaillée de l'évaluation des risques;
- un plan d'action détaillant tout contrôle complémentaire identifié lors de l'évaluation des risques ainsi qu'un calendrier de mise en pratique;
- un résumé des mesures préventives mises en pratique ainsi qu'une brève justification pour chacune d'entre elles;
- une copie de toute disposition spécifique écrite ou des réglementations locales afférentes au travail dans les lieux contrôlés soumis aux rayonnements optiques;
- le registre des utilisateurs habilités;
- un plan de maintenance des mesures préventives, y compris le calendrier des actions positives nécessaires à l'entretien et la mise à l'épreuve des mesures préventives;
- les détails des dispositions formelles mises en place afin de gérer l'interaction avec des agents externes tel le personnel d'entretien technique;
- les détails des dispositions pour les cas imprévus;
- un plan d'audit;
- les copies des comptes rendus d'audit;
- les copies de toute correspondance pertinente.

Conformément à la pratique courante de l'employeur, l'efficacité du programme doit être vérifiée à intervalles réguliers (par exemple une fois par an) en vue des comptes rendus d'audit et des modifications de la législation ou des normes.

9.5.1. Réglementations locales

Lorsque l'évaluation des risques met en évidence une exposition potentielle à un niveau dangereux de rayonnements optiques, il est alors nécessaire de mettre en place un ensemble de prescriptions écrites de sécurité

(ou de réglementations locales) afin d'indiquer la manière dont le travail avec les rayonnements optiques doit être effectué. Ces instructions doivent inclure une description du local, le nom du conseiller sur les rayonnements optiques à contacter (voir le point 9.5.4), le nom de la (des) personne(s) autorisée(s) à utiliser l'équipement, les informations concernant tout test requis avant utilisation, le mode d'emploi, une indication des risques ainsi que toute consigne à suivre lors d'incidences imprévues.

Les réglementations locales doivent être disponibles dans les endroits auxquels elles s'appliquent et doivent être communiquées à tout le personnel concerné.

9.5.2. Zones sécurisées

Il peut s'avérer nécessaire de désigner une zone sécurisée si le niveau limite d'exposition aux rayonnements optiques y est supérieur à la normale. L'accès à cette zone est en général limité aux personnes autorisées. Elle doit être de préférence délimitée par des moyens physiques, par exemple les murs et les portes de toute la pièce. Son accès peut être restreint à l'aide de verrous, barrières ou claviers numériques.

La direction doit instituer les critères pour la sélection formelle des utilisateurs autorisés. Elle doit mettre en place un procédé strict afin d'évaluer les qualifications du personnel avant autorisation; les critères doivent tenir compte de sa formation, de sa compétence et de sa connaissance des réglementations locales. Les résultats de l'évaluation doivent être enregistrés et les noms des utilisateurs autorisés inscrits dans un registre officiel.

9.5.3. Panneaux et signalisations de sécurité

Ils sont partie intégrante de tout système de contrôle administratif. Les panneaux de sécurité s'avéreront utiles uniquement lorsqu'ils sont clairs et simples, et affichés uniquement où et lorsque nécessaires — autrement, ils seront souvent ignorés.

Les panneaux d'avertissement peuvent inclure le type d'équipement utilisé. Si l'utilisation d'équipements de protection individuelle est nécessaire, cela doit également être indiqué.

Les panneaux d'avertissement sont plus efficaces lorsque affichés uniquement lors de l'utilisation de l'équipement. Tous les panneaux de sécurité doivent être placés à hauteur des yeux pour maximiser leur visibilité.



Panneaux couramment utilisés sur les lieux de travail pour avertir des dangers et recommander l'utilisation d'équipements de protection individuelle.
Tous les panneaux de sécurité doivent être conformes aux exigences de la directive sur les panneaux de sécurité (92/58/CEE).

9.5.4. Nominations

La sécurité relative aux rayonnements optiques doit être gérée par les mêmes dispositions de sécurité et de santé que celles mises en place pour les autres activités potentiellement dangereuses. Les prescriptions organisationnelles varieront selon la taille et la structure de l'entreprise.

Pour la plupart des appareils, la formation d'un expert en gestion de sécurité des rayonnements optiques ne sera pas nécessaire. Par ailleurs, il sera difficile pour les employés de se tenir à jour sur la sécurité relative aux rayonnements optiques si leur travail ne requiert pas l'utilisation régulière de leur expertise en la matière. Par conséquent, certaines entreprises font appel à des conseillers indépendants sur la sécurité des rayonnements optiques, qui peuvent recommander:

- des solutions de contrôle technique;
- des procédures écrites pour l'utilisation sûre de l'équipement, ainsi que des mesures de sécurité opérationnelles et professionnelles;

- la sélection d'équipements de protection individuelle;
- l'éducation et la formation du personnel.

Dans certains cas, il sera nécessaire de nommer un membre du personnel suffisamment formé afin de contrôler quotidiennement la sécurité relative aux rayonnements optiques sur le lieu de travail.

9.5.5. Formation et consultation

9.5.5.1. Formation

La directive (article 6) exige que l'entreprise veille à ce que les travailleurs (et/ou leurs représentants) exposés aux risques associés aux rayonnements optiques artificiels reçoivent les informations et la formation nécessaires, en particulier en ce qui concerne:

- les mesures prises en vue d'appliquer cette directive;
- les valeurs limites d'exposition et les risques potentiels associés;

les résultats de l'évaluation, de la mesure et/ou des calculs des niveaux d'exposition aux rayonnements optiques artificiels effectués en application de l'article 4 de la présente directive, ainsi que les explications sur leur signification et sur les risques potentiels;

la manière de dépister les effets sanitaires nocifs d'une exposition et de les signaler;

les circonstances pour lesquelles les travailleurs ont droit à une surveillance de la santé;

les pratiques professionnelles sûres permettant de réduire au minimum les risques associés à une exposition;

l'utilisation adéquate des équipements de protection individuelle appropriés.

Le niveau de formation doit être adapté aux risques associés à l'exposition aux rayonnements optiques artificiels. Lorsque toutes les sources sont considérées comme sans danger, il suffira d'en informer les travailleurs et/ou leurs représentants. Toutefois, il est impératif d'alerter les travailleurs ou leurs représentants des groupes de risques particulièrement sensibles et de les éduquer sur la manière de les gérer.

Lorsque les rayonnements optiques artificiels peuvent dépasser la valeur limite d'exposition sur le lieu de travail, une formation professionnelle doit être mise en place et des travailleurs doivent être nommés à des rôles spécifiques. Afin de déterminer le niveau de formation requis, l'employeur doit prendre en compte:

la compétence des employés et leur connaissance actuelle des risques relatifs aux rayonnements optiques artificiels;

les évaluations actuelles des risques et leurs conclusions;

la nécessité pour les travailleurs de participer aux évaluations de risques ou à leur examen;

l'invariabilité du lieu de travail et ses risques formellement évalués ou le changement fréquent de l'environnement;

l'accès de l'employeur à des compétences externes pour la gestion des risques;

des nouveaux travailleurs ou des travailleurs n'ayant jamais travaillé avec des rayonnements optiques artificiels.

Il est important de mettre les risques en perspective. Par exemple, les cours de formation professionnelle pour l'utilisation d'un pointeur laser de classe 2 ne sont pas nécessaires. La formation des travailleurs utilisant des lasers de classe 3B et de classe 4 ainsi que des sources incohérentes de groupe de risques 3 sera presque toujours indispensable. Toutefois, il est impossible de définir la durée d'un programme de formation ou la manière de le dispenser, ce qui rend l'évaluation des risques d'autant plus importante.

L'idéal serait d'identifier les besoins de formation et la manière de la dispenser avant l'installation de la source de rayonnements optiques artificiels.

9.5.5.2. Consultation

L'article 7 de la directive rappelle les exigences générales de l'article 11 de la directive 89/391/CEE (voir page suivante).

Article 11

Consultation et participation des travailleurs

1. Les employeurs consulteront les travailleurs et/ou leurs représentants et leur permettront de participer aux discussions sur toutes les questions relatives à la sécurité et la santé au travail.

Ce qui présuppose :

- la consultation des travailleurs,
- le droit des travailleurs et/ou leurs représentants de faire des propositions,
- la participation équilibrée conformément aux législations et/ou aux pratiques nationales.

2. Les travailleurs ou les représentants des travailleurs, ayant une fonction spécifique en matière de protection de la sécurité et de la santé des travailleurs, participent de façon équilibrée, conformément aux législations et/ou pratiques nationales, ou sont consultés au préalable et en temps utile par l'employeur sur:

- a) toute action qui peut avoir des effets substantiels sur la sécurité et la santé;
- b) la désignation des travailleurs prévue à l'article 7 paragraphe 1 et à l'article 8 paragraphe 2 ainsi que sur les activités prévues à l'article 7 paragraphe 1;
- c) les informations prévues à l'article 9 paragraphe 1 et à l'article 10;
- d) l'appel, prévu à l'article 7 paragraphe 3, le cas échéant, à des compétences (personnes ou services) extérieures à l'entreprise et/ou à l'établissement;
- e) la conception et l'organisation de la formation prévue à l'article 12.

3. Les représentants des travailleurs, ayant une fonction spécifique en matière de protection de la sécurité et de la santé des travailleurs, ont le droit de demander à l'employeur qu'il prenne des mesures appropriées et de lui soumettre des propositions en ce sens, de façon à pallier tout risque pour les travailleurs et/ou à éliminer les sources de danger.

4. Les travailleurs visés au paragraphe 2 et les représentants des travailleurs visés aux paragraphes 2 et 3 ne peuvent subir de préjudice en raison de leurs activités respectives visées aux paragraphes 2 et 3.

5. L'employeur est tenu d'accorder aux représentants des travailleurs, ayant une fonction spécifique en matière de protection de la sécurité et de la santé des travailleurs, une dispense de travail suffisante sans perte de salaire et de mettre à leur disposition les moyens nécessaires pour permettre à ces représentants d'exercer les droits et fonctions découlant de la présente directive.

6. Les travailleurs et/ou leurs représentants ont le droit de faire appel, conformément aux législations et/ou pratiques nationales, à l'autorité compétente en matière de sécurité et de santé au travail, s'ils estiment que les mesures prises et les moyens engagés par l'employeur ne sont pas suffisants pour garantir la sécurité et la santé au travail.

Les représentants des travailleurs doivent pouvoir présenter leurs observations lors de visites et vérifications effectuées par l'autorité compétente.

IEC TR 60825-14: 2004 stipule la formation minimale nécessaire pour les utilisateurs de lasers.

EN 60825-2: 2004 stipule les exigences complémentaires en ce qui concerne les travailleurs utilisant des systèmes de communication à fibre optique.

EN 60825-12: 2004 stipule les exigences complémentaires pour les travailleurs utilisant des systèmes de communication espace libre.

CLC/TR 50448: 2005 stipule les niveaux de compétence requis afin d'assurer la sécurité lors de l'utilisation des lasers.

9.6. Équipements de protection individuelle (EPI)

La réduction de toute exposition imprévue aux rayonnements optiques doit être prise en compte lors du concept technique de l'équipement. Toute exposition aux rayonnements optiques doit être réduite, dans la mesure du possible, à l'aide de protections physiques, tels les contrôles techniques. Les équipements de protection individuelle ne doivent être utilisés que dans le cas où les contrôles techniques et administratifs s'avèrent impossibles ou inadéquats.

L'objectif des EPI est de réduire les rayonnements optiques à un niveau auquel ils ne puissent nuire à la santé de la personne exposée. Les effets nocifs à la santé des

rayonnements optiques ne seront pas toujours évidents au moment de l'exposition. Il est à noter que les limites d'exposition dépendent des longueurs d'onde. Par conséquent, le niveau de protection des EPI doit également être établi selon les longueurs d'onde.

Bien que les blessures aiguës de la peau suite à l'exposition aux rayonnements optiques soient moins susceptibles de diminuer la qualité de vie de la personne, il est impératif de reconnaître que la probabilité d'une blessure de la peau est élevée, en particulier au visage ou aux mains. Il est particulièrement important de tenir compte de l'exposition de la peau aux rayonnements optiques inférieurs à 400 nm, qui peuvent accroître le risque de cancer de la peau.

Important

Les EPI doivent être appropriés aux risques pertinents, sans toutefois accroître les risques.

Les EPI doivent être appropriés aux conditions de travail.

Les EPI doivent tenir compte des exigences ergonomiques et de l'état de santé du travailleur.

9.6.1. Protection contre d'autres risques

Les risques non optiques suivants doivent être pris en compte lors de la sélection des équipements de protection individuelle contre les rayonnements optiques:

- impact
- chaleur/froid
- pénétration
- poussière nocive
- compression
- biologique
- chimique
- électrique

Des exemples sont énumérés ci-dessous:

Équipements de protection individuelle	Fonction
Protection des yeux: lunettes de protection, écrans de protection du visage, visières	La protection des yeux doit permettre au travailleur de tout voir dans le lieu de travail tout en restreignant les rayonnements optiques à un niveau acceptable. La sélection de l'équipement de protection des yeux dépend de plusieurs facteurs, notamment: longueur d'onde, énergie/puissance, densité optique, port de lentilles, confort, etc.
Vêtements et gants de protection	Les sources de rayonnements optiques posent parfois des risques d'incendie; par conséquent, il est parfois nécessaire de fournir des vêtements de protection. Les équipements de source de rayonnements UV présentent parfois un risque pour la peau; il est donc essentiel de protéger la peau à l'aide de vêtements et gants de protection appropriés. Le port des gants est obligatoire lors du travail avec des produits chimiques ou biologiques. Les vêtements de protection sont également requis pour certaines applications.
Masques	Certaines fumées et poussières toxiques ou nocives s'échappent durant certains procédés. Les masques peuvent devenir nécessaires pour des raisons d'urgence.
Casques antibruit	Le bruit peut présenter un risque durant certains procédés industriels.

9.6.2. Protection des yeux

Des lésions oculaires dues aux rayonnements optiques sont possibles lorsque les expositions excèdent les valeurs limites d'exposition (VLE). Si les autres mesures ne suffisent pas à contrôler les risques relatifs à une exposition des yeux supérieure aux valeurs limites applicables, l'équipement de protection des yeux recommandé par le fabricant ou le conseiller sur la sécurité relative aux rayonnements optiques et conçu spécifiquement pour les longueurs d'onde et l'émission doit être porté.

Sur les équipements de protection des yeux doivent être indiqués clairement la gamme des longueurs d'ondes et le niveau de protection correspondant. Cela est particulièrement important lorsque de multiples sources nécessitent différents types de protection des yeux, par exemple des lasers de différentes longueurs d'onde exigeant une protection spécifique à leur usage. Par ailleurs, il est impératif d'utiliser des méthodes fiables et claires pour le marquage des protections des yeux afin d'éviter toute ambiguïté quant aux équipements de protection à utiliser pour chaque tâche.

Le niveau d'atténuation des rayonnements optiques fourni par les protections des yeux dans la bande spectrique de danger doit, au minimum, suffire à ramener le niveau d'exposition en dessous des valeurs limites d'exposition en vigueur.

Le facteur relatif de la transmission dans le visible ainsi que la couleur de l'environnement tels que vus à travers les filtres de protection forment des caractéristiques importantes de la protection des yeux; ils peuvent diminuer la capacité du travailleur à exécuter ses tâches sans compromettre la sécurité relative aux rayonnements non optiques.

Il est important de stocker correctement les équipements de protection des yeux ainsi que de les nettoyer régulièrement, conformément aux critères d'inspection définis.

Choix de l'équipement de protection des yeux

Q: Niveau de protection nécessaire?	→ Choisir une protection dont l'atténuation > $\frac{\text{Exp Niveau}}{\text{VLE}}$
Q: Transmission lumineuse? Qualité de la vision?	→ Choisir une protection dont la transmission est > 20 % En cas d'indisponibilité, accroître le niveau d'illumination. Vérifier les filtres pour toute griffure ou diffusion
Q: Perception des couleurs de l'environnement de travail?	→ Vérifier que la personne peut clairement voir les contrôles de l'équipement et les panneaux d'urgence à travers la protection
Q: Trop de reflets?	→ Éviter tout miroir poli ou filtres et armatures brillants
Q: Si la protection des yeux est branchée sur secteur ou alimentée par une batterie et que l'alimentation est interrompue, la sécurité est-elle compromise?	→ Choisir un filtre à atténuation maximale lorsque non alimenté

9.6.3. Protection de la peau

En ce qui concerne l'exposition professionnelle aux rayonnements optiques, les parties de la peau le plus souvent à risque se trouvent sur les mains, le visage, la tête et le cou, les autres parties du corps étant en général revêtues de tenues de travail. Les gants peuvent protéger les mains des transmissions faibles et rayonnements optiques dangereux, tandis que les visières et masques peuvent protéger les yeux, et les casques et masques appropriés peuvent protéger la tête et le cou.



9.7. Informations complémentaires

Directive 89/656/CEE du Conseil concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé pour l'utilisation par les travailleurs au travail d'équipements de protection individuelle

9.7.1. Normes de base

EN 165:2005 — Protection individuelle de l'œil — Vocabulaire
EN 166:2002 — Protection individuelle de l'œil — Spécifications
EN 167:2002 — Protection individuelle de l'œil — Méthodes de tests optiques

EN 168:2002 — Protection individuelle de l'œil — Méthodes de test autres qu'optiques

9.7.2. Normes selon les types de protection

EN 169:2002 — Protection individuelle de l'œil — Facteurs de transmission et usage recommandé

EN 170:2002 — Protection individuelle de l'œil — Filtres ultraviolets — Facteurs de transmission et usage recommandé

EN 171:2002 — Protection individuelle de l'œil — Filtres infrarouges — Facteurs de transmission et usage recommandé

9.7.3. Soudage

EN 175:1997 — Protection personnelle — Équipement de protection pour les yeux et le visage lors du soudage et techniques connexes

EN 379:2003 — Filtres de soudage automatiques

EN 1598:1997 — Santé et sécurité en soudage et techniques connexes — Rideau, lanières et écrans transparents pour les procédés de soudage à l'arc

9.7.4. Laser

EN 207:1998 — Filtres et protecteurs de l'œil contre les rayonnements laser

EN 208:1998 — Protecteurs de l'œil pour les travaux de réglage sur les lasers et systèmes laser

9.7.5. Sources de lumière intense

BS 8497-1:2008 — Protecteurs de l'œil contre les sources de lumière intense utilisées sur les humains et animaux à des fins médicales et cosmétiques — Partie 1: normes des produits

BS 8497-2:2008 — Protecteurs de l'œil contre les sources de lumière intense utilisées sur les humains et animaux à des fins médicales et cosmétiques — Partie 2: mode d'emploi

10. Gestion des incidents préjudiciables

Dans le contexte de ce manuel, les incidents préjudiciables comprennent toute blessure et maladie (les accidents), ou les accidents évités de justesse ou les circonstances indésirables (les incidents).

Durant l'utilisation de faisceaux laser collimatés, le risque d'exposition est généralement minime, mais les effets nocifs peuvent s'avérer importants. Au contraire, les risques d'exposition sont élevés pour les sources incohérentes de rayonnements optiques artificiels, mais les effets nocifs en sont minimes.

Il est donc recommandé d'établir des plans d'action basés sur des incidents nuisibles prévisibles dus aux rayonnements optiques artificiels. Les détails et la complexité de ces plans dépendront des risques. Il est probable que l'employeur aura établi des mesures générales d'action en cas d'incidents, il pourra s'en servir afin de mettre en œuvre des mesures similaires pertinentes aux rayonnements optiques.

Des plans d'action détaillés en cas d'incidents doivent être établis pour les travaux incluant l'accès aux rayonnements optiques des équipements suivants:

Lasers de classe 3B

Lasers de classe 4

Catégorie de risque 3, sources incohérentes

Les plans d'action en cas d'incidents doivent comprendre les actions et responsabilités pour les cas suivants:

L'exposition réelle d'un travailleur à un rayonnement supérieur à la valeur limite d'exposition

L'exposition probable d'un travailleur à un rayonnement supérieur à la valeur limite d'exposition

11. Surveillance de la santé

L'article 8 de la directive établit les dispositions à prendre en ce qui concerne la surveillance de la santé conformément aux prescriptions générales de la directive 89/391/CEE. Les précisions nécessaires à la mise en œuvre de ces dispositions se basent sur les prescriptions nationales. Par conséquent, ce chapitre n'en traite que de façon générale.

Les prescriptions de cet article se fondent sur plus d'un siècle d'informations relatives à l'exposition des travailleurs aux rayonnements optiques artificiels. Le nombre d'effets nocifs à la santé rapportés est minime et se limite à un petit nombre d'industries qui ont souvent mis en place des mesures préventives afin de réduire le nombre d'incidents au minimum.

Avec l'invention du laser, des recommandations ont été publiées concernant les examens optiques réguliers des travaillant manipulant les lasers. Néanmoins, 50 ans d'expérience ont démontré que ces examens n'ont aucune valeur au sein d'un programme de surveillance de la santé et posent probablement des risques complémentaires pour les travailleurs.

Les travailleurs exposés aux rayonnements optiques artificiels au travail ne devraient pas recevoir d'examens optiques avant, durant et après leur emploi, uniquement parce qu'ils exécutent ce genre de travail. De même, les travailleurs peuvent bénéficier d'examens de la peau, mais ceux-ci ne sont pas justifiés simplement parce que les travailleurs sont exposés régulièrement aux rayonnements optiques artificiels.

11.1. Responsabilité de la surveillance de la santé

La surveillance de la santé doit être réalisée par:

- un docteur;
- un spécialiste de la médecine du travail;
- ou une autorité médicale responsable de la surveillance de la santé conformément à la loi et aux pratiques nationales.

11.2. Dossiers

Les États membres prennent les dispositions nécessaires pour garantir qu'un dossier de santé individuel est ouvert et mis à jour pour chaque travailleur.

Les dossiers médicaux contiennent un résumé des résultats de la surveillance ainsi réalisée.

Ils sont conservés sous une forme appropriée qui permet des consultations ultérieures, dans le respect des exigences de confidentialité.

Chaque travailleur a individuellement accès, à sa demande, aux dossiers de santé qui le concernent personnellement.

11.3. Examens médicaux

Dans les cas où l'exposition aux rayonnements optiques artificiels au-delà des valeurs limites est détectée ou soupçonnée, le travailleur doit recevoir un examen médical.

Cet examen médical est également effectué lorsqu'il ressort qu'un travailleur souffre d'une maladie identifiable ou d'effets préjudiciables à sa santé suite à l'exposition aux rayonnements optiques artificiels.

Certains effets nocifs sont dus à l'exposition aux rayonnements optiques naturels. Par conséquent, la personne chargée d'effectuer les examens médicaux doit connaître les effets potentiellement nocifs à la santé des sources spécifiques d'exposition professionnelle aux rayonnements optiques artificiels.

11.4. Actions à prendre lorsque l'exposition dépasse les valeurs limites

Lorsque l'exposition dépasse les limites ou lorsque des effets nocifs à la santé ou une maladie sont apparus suite à une exposition aux rayonnements optiques artificiels sur le lieu de travail:

- le travailleur doit être informé des résultats;
- le travailleur doit recevoir des informations et des conseils relatifs à toute surveillance de la santé à laquelle il devrait se soumettre à l'avenir;
- l'employeur est informé, dans le respect des exigences en matière de secret médical;
- l'employeur réexamine l'évaluation des risques;
- l'employeur réexamine les mesures préventives actuelles (en consultant un spécialiste si nécessaire);
- l'employeur établit toute autre surveillance de la santé continue si nécessaire.

Annexe A. Nature des rayonnements optiques

La lumière est un exemple courant des rayonnements optiques — artificiels si émis par une lampe. On utilise les termes «rayonnements optiques» car la lumière est une forme de rayonnements électromagnétiques, influant sur l'œil, c'est-à-dire qu'elle entre dans l'œil, s'y concentre puis est détectée.

Le spectre de la lumière s'étend des pourpres aux bleus, en passant par les verts et les jaunes, les oranges et les rouges. Les couleurs de la lumière perçues sont déterminées par des longueurs d'onde présentes dans le spectre de la lumière. Les longueurs d'onde courtes sont situées à l'extrémité bleue du spectre, les longueurs d'onde plus longues à l'extrémité rouge. On peut se représenter la lumière comme un jet de particules sans masse, les photons, qui ont tous une longueur d'onde spécifique.

Le spectre des rayonnements électromagnétiques s'étend au-delà des longueurs d'onde visibles. Par exemple les rayonnements infrarouges, micro-ondes et radio, dont les longueurs d'onde sont de plus en plus élevées. Les rayonnements ultraviolets, rayons X et gamma ont des longueurs d'onde de plus en plus courtes.

La longueur d'onde des rayonnements électromagnétiques peut servir à déterminer d'autres facteurs utiles en ce qui la concerne.

L'interaction entre des rayonnements électromagnétiques et un matériau engendre un dépôt d'énergie au point d'interaction; ce qui peut avoir un effet sur le matériau, par exemple la lumière visible arrivant sur la rétine dépose assez d'énergie pour déclencher des réactions biochimiques qui en retour produisent un signal envoyé le long du nerf optique au cerveau. La quantité d'énergie disponible durant ces interactions dépend de la quantité de rayonnements et du niveau énergétique des rayonnements. La quantité d'énergie des rayonnements électromagnétiques est relative à la longueur d'onde. Plus la

longueur d'onde est courte, plus les rayonnements sont énergétiques. Ainsi la lumière bleue est plus énergétique que la lumière verte, elle-même plus énergétique que la lumière rouge. Les rayonnements ultraviolets sont plus énergétiques que toute longueur d'onde visible.

La longueur d'onde des rayonnements détermine également le degré de pénétration et d'interaction avec le corps. Par exemple, les UVA sont transmis de manière moins efficace à l'œil que la lumière verte.

Certaines des portions invisibles du spectre électromagnétique sont incluses sous la dénomination «rayonnements optiques». Plus précisément, les bandes spectrales des ultraviolets et infrarouges. Bien qu'invisibles à l'œil (la rétine ne peut détecter ces longueurs d'onde), les portions de ces bandes spectrales peuvent plus ou moins pénétrer l'œil. À des fins pratiques, le spectre des rayonnements optiques est divisé par longueur d'onde comme suit:

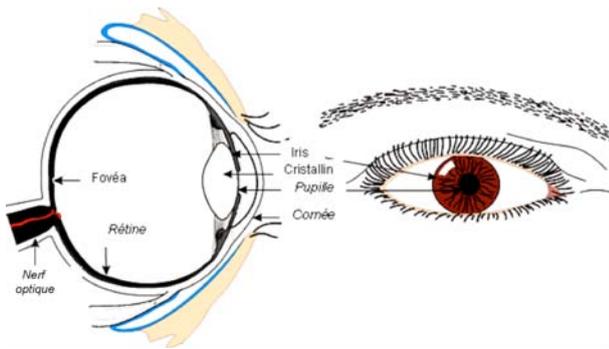
Ultraviolet «C» (UVC)	100-280 nm
UVB	280-315 nm
UVA	315-400 nm
Visible	380-780 nm
Infrarouge «A» (IRA)	780-1 400 nm
IRB	1 400-3 000 nm
IRC	3 000-1 000 000 nm (3 μm-1 mm)

La directive indique les limites d'exposition pour la bande spectrale 180-3 000 nm pour les rayonnements optiques incohérents, et de 180 nm à 1 mm pour les rayonnements laser.

Annexe B. Effets biologiques des rayonnements optiques sur l'œil et la peau

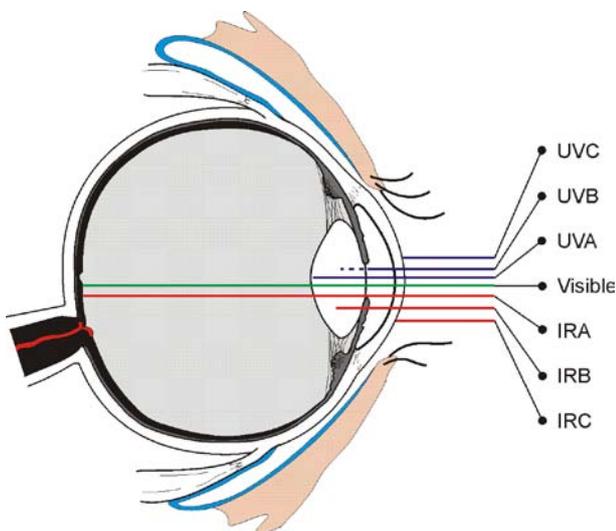
B.1. L'œil

Dessin B1. Structure de l'œil



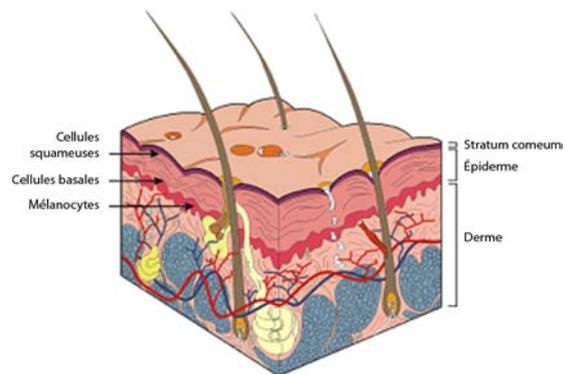
La lumière entre dans l'œil à travers la cornée aqueuse, puis une ouverture variable (la pupille), le cristallin, et finalement se concentre sur la rétine. Le nerf optique transporte les photorécepteurs de la rétine vers le cerveau.

Dessin B2. Pénétration des différentes longueurs d'onde dans l'œil



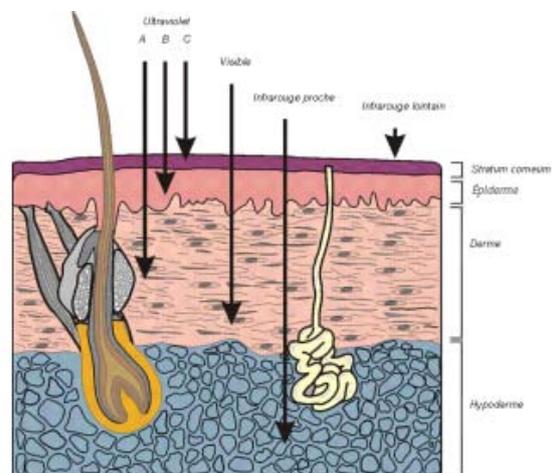
B.2. La peau

Dessin B3. Structure de la peau



La couche externe de la peau, l'épiderme, est constituée principalement de kératinocytes (cellules squameuses) produits dans la couche basale et qui remontent à la surface puis tombent. Le derme est composé principalement de fibres de collagène et comprend des racines de nerfs, glandes sudoripares, vaisseaux sanguins et follicules.

Dessin B4. Pénétration de différentes longueurs d'onde dans la peau



B.3. Effets biologiques des différentes longueurs d'onde sur l'œil et la peau

B.3.1. Rayonnements ultraviolets: UVC (100-280 nm); UVB (280-315 nm); UVA (315-400 nm)

Effets sur la peau

La majeure partie des rayonnements ultraviolets (UVR) sont absorbés par l'épiderme. Toutefois, la pénétration augmente lorsque la longueur d'onde des UVA est plus élevée.

L'exposition excessive à court terme aux rayonnements UV provoque l'érythème — une rougeur congestive de la peau accompagnée d'une intumescence. Les symptômes peuvent être sévères et les effets les plus importants apparaissent de 8 à 24 heures après l'exposition, puis s'atténuent au bout de 3-4 jours, la peau séchant alors et pelant. La pigmentation de la peau augmente ensuite (bronzage différé). L'exposition aux UVA peut également provoquer un changement immédiat mais temporaire de la pigmentation de la peau (mélanodermie immédiate).

La peau de certaines personnes réagit de façon anormale aux UVR (photosensibilité) à cause d'anomalies génétiques ou métaboliques par exemple, ou suite à un contact ou à la prise de certains médicaments ou produits chimiques.

Le cancer de la peau est la pathologie la plus grave induite par les effets long terme des UV. Les cancers de la peau sans présence de mélanome comprennent les carcinomes basocellulaires ainsi que les carcinomes spinocellulaires. Ils sont relativement courants dans les populations à peau blanche bien que rarement mortels. Ils se développent le plus souvent sur les parties du corps exposées au soleil, par exemple le visage et les mains, et deviennent de plus en plus courants avec l'âge. Des études épidémiologiques indiquent que l'incidence de ces cancers est liée à l'exposition cumulative aux UV, particulièrement pour les carcinomes spinocellulaires. La majeure partie des décès est due au mélanome malin, bien que ce type de cancer soit moins fréquent que les carcinomes basocellulaires. La plupart des cas sont dépistés chez les personnes ayant un large nombre de naevi, la peau claire, les cheveux roux ou blonds et les personnes ayant tendance à ne pas bronzer au soleil. Les expositions sporadiques au soleil contribuent autant au risque de mélanome malin que les périodes d'exposition régulières.

L'exposition chronique aux UV peut également vieillir la peau, lui donnant une apparence ridée et de cuir, et lui faire perdre son élasticité. Les UVA affectent la peau le plus car ils peuvent atteindre le collagène et l'élastine du derme. Des recherches suggèrent également que les UV peuvent affaiblir les réactions immunitaires.

L'exposition aux UV a également un aspect bénéfique, car elle permet la synthèse de la vitamine D; par conséquent, les expositions quotidiennes de courte durée permettront de synthétiser une quantité suffisante de vitamine D en cas de carence nutritionnelle.

Effets sur les yeux

Les UV sont absorbés par la cornée et le cristallin. La cornée et la conjonctive absorbent fortement les longueurs d'onde inférieures à 300 nm. Les couches superficielles de la cornée absorbent les UVC tandis que la cornée et le cristallin absorbent les UVB. Les UVA traversent la cornée et sont absorbés par le cristallin.

La surexposition aux UV peut provoquer la kératite et la conjonctivite (inflammation de la cornée et de la conjonctive), aussi connues sous le nom de «niphablepsie» ou brûlures de l'œil. Les symptômes varient de l'irritation légère, la sensibilité à la lumière aux douleurs aiguës; ils apparaissent 30 minutes à une journée plus tard, selon l'intensité des rayonnements et disparaissent généralement quelques jours plus tard.

L'exposition chronique aux UVA et UVB peut provoquer des cataractes suite à la modification des protéines dans le cristallin. Grâce à l'action des tissus antérieurs de l'œil, une infime quantité d'UV (moins de 1 % des UVA) traverse en général la rétine. Toutefois, certaines personnes ne possèdent plus de cristallin naturel suite à une opération de la cataracte, par conséquent la rétine peut être endommagée par les UV qui pénètrent l'œil (à des longueurs d'onde de 300 nm) si aucun cristallin artificiel n'a été greffé. Cette lésion est le résultat de radicaux libres produits par la lumière qui s'attaquent à la structure des cellules rétinienne. La rétine se protège normalement des lésions graves grâce aux réactions involontaires à la lumière visible, mais les UV n'enclenchent pas ces réactions; c'est pourquoi toute personne dépourvue de cristallin capable d'absorber les UV court un plus grand risque de lésions rétinienne pendant le travail avec les sources de rayonnements UV.

L'exposition chronique aux UV contribue de façon importante à l'apparition des troubles cornéens et conjonctivaux, tels la kératopathie (accumulation de dépôts jaunes/marron sur la conjonctive et la cornée), le ptérygion (épaississement de la conjonctive qui empiète sur la cornée), et parfois la pinguécula (plaque jaunâtre proliférante de la conjonctive).

B.3.2. Rayonnements visibles

Effets sur la peau

Les rayonnements visibles (la lumière) pénètrent la peau et augmentent la température au point de contact suffisamment pour provoquer une brûlure. Le corps s'adapte aux augmentations de températures graduelles en augmentant la circulation du sang (afin de disperser la chaleur) et la sudation. Si l'irradiation n'est pas suffisamment élevée pour provoquer de brûlure locale (en 10 s ou moins), la personne exposée sera protégée grâce aux réactions instinctives envers la chaleur.

Quant aux expositions prolongées, l'effet nocif principal se manifestera sous forme de tension thermique (élévation de la température physique interne). Bien que la directive ne mentionne ces facteurs, il est impératif de tenir compte de la température ambiante et de la charge de travail.

Effets sur les yeux

Le rôle des yeux étant de collecter et de concentrer les rayonnements visibles, la rétine est plus souvent endommagée que la peau. Regarder directement une source de lumière brillante peut provoquer des lésions rétinienne. Si la fovéa est lésée, par exemple lorsque l'on regarde directement le long d'un faisceau laser, cela peut engendrer de graves handicaps visuels. Les mesures protectrices naturelles incluent l'aversion à la lumière brillante (la réaction se fait en 0,25 seconde; la pupille se contracte afin de réduire l'irradiation rétinienne par un facteur de 30; la tête se détourne involontairement).

Les augmentations thermiques de la rétine de 10-20 °C peuvent causer des lésions irréversibles car elles engendrent la dénaturation des protéines. Si la source de rayonnements couvre une large partie du champ de vision afin de créer une large image rétinienne, les cellules rétinienne de la partie centrale de l'image ont des difficultés à disperser la chaleur rapidement.

Les rayonnements visibles peuvent entraîner les mêmes genres de lésions photochimiques que les UV (toutefois, dans la gamme des longueurs d'onde visibles, le détournement du regard de la lumière brillante agit comme mécanisme de protection). Cet effet est plus prononcé lorsque les longueurs d'onde se situent entre 435-440 nm, on l'appelle donc le «risque lumière bleue». L'exposition chronique à des niveaux élevés ambiants de lumière visible endommage les cellules de la rétine, avec comme conséquence une vision nocturne réduite ainsi qu'une possible chromatopsie.

Lorsque les rayonnements entrent dans l'œil à un angle essentiellement parallèle (divergence très basse d'une source distante ou d'un laser), il se peut qu'ils se concentrent sur une toute petite partie de la rétine avec comme résultat des lésions graves. Théoriquement, ce procédé de concentration peut augmenter l'éclairement énergétique sur la rétine par un facteur de 500 000 fois celui reçu par l'œil. Dans ce cas, la brillance peut dépasser celle de toute source artificielle ou naturelle connue de l'homme. Les brûlures représentent les lésions les plus courantes causées par les lasers: les lasers de puissance maximale productible peuvent produire une augmentation si rapide de la température que les cellules en fait explosent.

B.3.3. IRA

Effets sur la peau

Les IRA pénètrent de plusieurs millimètres le tissu dermique, donc profondément. Ils produisent parfois les mêmes effets thermiques que les rayonnements visibles.

Effets sur les yeux

De la même façon que pour les rayonnements visibles, la cornée et le cristallin les concentrent puis les transmettent à la rétine. Ils peuvent alors induire les mêmes lésions lucites que les rayonnements visibles. Toutefois, la rétine ne détecte pas les infrarouges; par conséquent, aucun mécanisme naturel de protection par détournement de l'œil ne la protège. La bande spectrale de 380 à 1 400 nm (visibles et infrarouges) est parfois connue sous le nom de «bande de risque rétinien».

L'exposition chronique aux infrarouges peut occasionner des cataractes.

Les infrarouges ne comprennent pas suffisamment de photons énergétiques pour entraîner des lésions photochimiques.

B.3.4. IRB

Effets sur la peau

Les IRB pénètrent la peau de moins de 1 mm. Ils peuvent provoquer les mêmes effets thermiques que les rayonnements visibles et les IRA.

Effets sur les yeux

L'humeur aqueuse absorbe très efficacement les longueurs d'onde d'environ 1 400 nm, tandis que l'humeur vitrée atténue les longueurs d'onde plus longues, protégeant ainsi la rétine. Le réchauffement de l'humeur aqueuse et de l'iris augmente la température des tissus avoisinants, y compris le cristallin qui n'est pas vascularisé et par conséquent ne peut pas contrôler sa propre température. Ce qui, accompagné de l'absorption directe des IRB par le cristallin, provoque des cataractes, un trouble professionnel courant parmi certains travailleurs, en l'occurrence les souffleurs de verre et les chaîniers.

B.3.5. IRC

Effets sur la peau

Les IRC ne pénètrent que la couche supérieure des cellules mortes de la peau (le stratum corneum). Les lasers puissants, capables d'ablater le stratum corneum et d'endommager les couches sous-jacentes, constituent les plus grands dangers des équipements à IRC. Les lésions sont principalement thermiques; toutefois, les lasers à puissance maximale productible peuvent provoquer également des lésions acoustiques/physiques.

Quant aux longueurs d'onde visibles, IRA et IRB, elles peuvent engendrer des déconforts et lésions thermiques.

Effets sur les yeux

La cornée absorbe les IRC; le danger principal est donc les brûlures de la cornée. La température des parties avoisinantes de l'œil augmente suite à la conduction thermique, mais la perte de chaleur (évaporation ou clignotement des yeux) ainsi que le gain de chaleur (température du corps) influencent ce procédé.

Annexe C. Quantités et unités des rayonnements optiques artificiels

Comme l'indique la partie «Nature des rayonnements optiques», les effets des rayonnements optiques dépendent de leur énergie et quantité. Il existe de nombreuses façons de quantifier les rayonnements optiques, les méthodes utilisées dans la directive sont brièvement expliquées ci-après.

C.1. Quantités de base

C.1.1. Longueur d'onde

Correspond à la longueur d'onde spécifique des rayonnements optiques. Elle est mesurée selon de petites sous-divisions du mètre — en général le nanomètre (nm), égal à un millionième d'un millimètre. Pour les longueurs d'onde plus longues, il est parfois plus pratique d'utiliser le micromètre (μm). Un micromètre est égal à 1 000 nanomètres.

Dans la plupart des cas, la source des rayonnements optiques en question émettra des photons de plusieurs différentes longueurs d'onde.

La longueur d'onde est représentée par le symbole λ (lambda) dans toutes les formules.

C.1.2. Énergie

Mesurée en joules (J). Utilisée pour représenter l'énergie de chaque photon (relative à la longueur d'onde du photon). Elle correspond également à l'énergie contenue dans un certain nombre de photons, par exemple une impulsion laser.

L'énergie est représentée par le symbole Q.

C.1.3. Autres quantités

Angle sous-tendu

L'apparente largeur d'un objet (en général une source de rayonnements optiques) tel que vu d'un certain point de

l'espace (en général l'endroit où les mesures sont prises). Calculée en divisant la largeur réelle de l'objet par la distance jusqu'à l'objet. Il est important d'utiliser la même unité pour les deux valeurs. Quelle que soit l'unité utilisée, l'angle sous-tendu est exprimé en radians (r).

Si l'objet se trouve à un angle de l'observateur, l'angle sous-tendu doit être multiplié par le cosinus de l'angle.

L'angle sous-tendu est représenté dans la directive par le symbole α (alpha).

Angle sous-tendu solide

L'équivalent tridimensionnel de l'angle sous-tendu. La surface de l'objet est divisée par le carré de la distance. Ici également, utiliser le cosinus de l'angle de vue pour corriger la vue par rapport au faisceau principal. Mesuré en stéradians (sr) et représenté par le symbole ω (oméga).

Divergence de faisceau

L'angle de divergence du faisceau de rayonnements optiques lorsqu'il s'éloigne de la source. Calculé en prenant la largeur du faisceau à deux points et en divisant le changement de largeur par la distance entre ces deux points. Mesuré en radians.

C.1.4. Quantités utilisées pour les limites d'exposition

Flux énergétique ou puissance rayonnée

La puissance est définie comme étant le taux auquel l'énergie passe à un endroit donné dans l'espace. On la mesure en watts (W), 1 watt égale 1 joule par seconde. Représentée par le symbole Φ (phi).

Le terme «puissance» exprime la puissance dans un faisceau spécifique de rayonnements optiques, cas dans lequel elle

s'appelle puissance CW, dont la puissance de faisceau de 1 mW émet des photons d'une énergie intégrale de 1 mJ par seconde.

La puissance décrit également les impulsions des rayonnements optiques. Par exemple, si un laser émet une impulsion distincte de 1 mJ par ms, la puissance de l'impulsion est de 1 W. Si l'impulsion est émise en de plus courts délais, par exemple en 1 μ s, la puissance égalera 1 000 W.

Éclairement énergétique

Vitesse d'arrivée de l'énergie, par surface unitaire, sur une surface donnée. Dépend de la puissance des rayonnements optiques ainsi que de la portée du faisceau sur la surface. Calculé en divisant la puissance par la surface, en watts par mètre carré ($W m^{-2}$). Représenté par le symbole E.

Exposition aux rayonnements

Énergie arrivée, par surface unitaire, sur une surface donnée. Calculée en multipliant l'éclairement énergétique, en $W m^{-2}$, par le temps d'exposition, en secondes. Exprimée en joules par mètre carré ($J m^{-2}$). Représentée par le symbole H.

Luminance énergétique

Représente la concentration d'un faisceau de rayonnements optiques. Calculée en divisant l'éclairement énergétique par l'angle solide de la source à un emplacement donné, vu de cet emplacement. Mesurée en watts par mètre carré par stéradian ($W m^{-2} sr^{-1}$). Représentée par le symbole L.

C.1.5. Quantités spectrales et bande large

Lorsqu'une source de rayonnements optiques, tel un laser, émet à une seule longueur d'onde (par exemple 633 nm), les quantités citées ne se rapportent qu'aux émissions de cette longueur d'onde. Par exemple, $\Phi = 5$ mW.

Lorsqu'il y a émission de plusieurs longueurs d'onde, chaque longueur d'onde discrète produira ses propres quantités. Par exemple, un laser émet 3 mW à 633 nm puis 1 mW à 1 523 nm. Cela représente la répartition spectrique énergétique de la

source, souvent indiquée par le symbole Φ_λ . Elle peut également être exprimée de la façon suivante: $\Phi = 4$ mW pour ce laser, ce qui représente le flux énergétique total: la valeur étant une valeur large bande.

Les données large bande sont calculées en additionnant toutes les données spectrales de la bande de longueur d'onde en question.

C.1.6. Quantités radiométriques et pondération spectrale

Toutes les quantités susmentionnées sont des quantités radiométriques. Les informations radiométriques quantifient et décrivent certains aspects d'un champ de rayonnement. Elles n'indiquent pas nécessairement les effets des rayonnements sur une cible biologique. Par exemple, un éclairement énergétique de $1 W m^{-2}$ à 270 nm présente plus de danger pour la cornée qu'un éclairement de $1 W m^{-2}$ à 400 nm. Lorsque les informations relatives aux effets biologiques sont nécessaires, utiliser la pondération spectrale. La plupart des limites d'exposition sont exprimées en terme de pondération spectrale, afin d'éviter tout impact biologique.

Les pondérations spectrales ont été établies lorsque les scientifiques ont découvert la capacité de variabilité d'un effet selon les longueurs d'onde. Par exemple, les rayonnements provoquent plus fréquemment la photokératite entre 250 nm et 270 nm, mais de moins en moins lorsqu'ils se situent entre 270 nm et 400 nm. La pondération spectrale déterminée, on l'exprime avec un symbole tel S_λ , B_λ ou R_λ . Ils représentent, respectivement, l'incidence de photokératite/érythème, lésions photochimiques de la rétine et lésions thermiques de la rétine selon la pondération spectrale.

Il est possible d'utiliser les valeurs de pondération spectrale pour multiplier un ensemble de données radiométriques spectrales afin d'obtenir les données de pondération spectrale. Ajouter alors les données de pondération afin d'obtenir la pondération spectrale large bande, en général exprimée par un indice relatif aux valeurs de pondération spectrale utilisées. Par exemple, le symbole L_b exprime la valeur de luminance large bande (L) pondérée à l'aide des valeurs de pondération B_λ .

C.1.7. Luminance

La luminance représente une des pondérations spectrales. Bien qu'elle ne soit pas utilisée pour les limites d'exposition, elle peut servir à évaluer la possibilité de lésion de la rétine par les sources de lumière blanche large bande.

La luminance est représentée par le symbole L_v , et exprimée en candela par mètre carré (cd m^{-2}). Elle représente l'effet biologique de l'éclairement, lorsque vue par l'œil adapté à la lumière du jour; elle est relative à la grandeur lumineuse (E_v , mesurée en lux), bien connue des éclairagistes.

La relation s'exprime de la façon suivante: $L_v = E_v/\omega$. La luminance est facilement calculée à l'aide de l'éclairage d'une source sur une surface, de la distance de la source, et les dimensions de celle-ci.

Annexe D. Exemples concrets

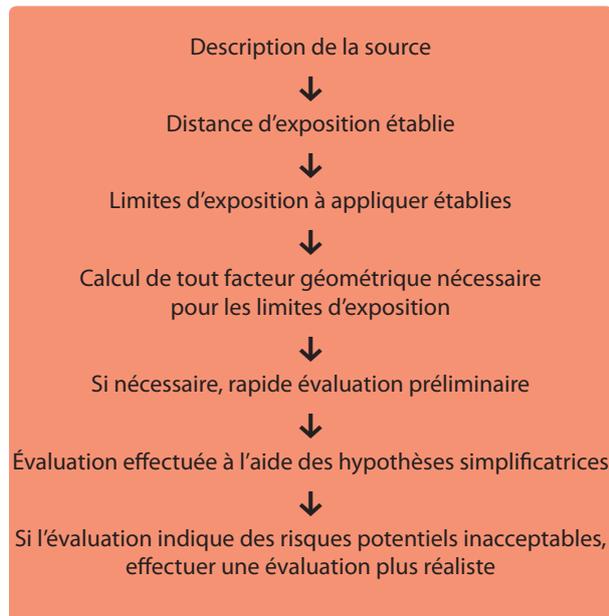
D.1. Bureaux

Les exemples suivants couvrent une variété de sources de rayonnements optiques couramment présentes dans la majeure partie des lieux de travail.

Une méthode commune est utilisée afin d'évaluer les risques posés par ces sources courantes. Cette méthode est décrite ci-après, elle est appliquée pour chacun des exemples mentionnés plus tard.

D.1.1. Explication de la méthode générale

Cette méthode se fonde sur le document NF EN 62471 (2008). Toutefois, certaines hypothèses simplificatrices ont été ajoutées afin d'éviter au maximum les risques de lésion de la rétine. L'explication suivante est compréhensive afin de couvrir tous les exemples mentionnés plus tard. L'évaluation des risques est effectuée selon les étapes suivantes:



Premièrement, la source est décrite et ses dimensions énumérées. Ces dimensions sont essentielles si la source émet dans les bandes visibles ou spectrales IRA.

Il est nécessaire en premier de définir la distance à laquelle l'évaluation des risques doit être effectuée: la distance de mesure représente en général l'endroit de contact réel le plus proche entre les travailleurs et la source, même si cette distance semble exagérément proche — elle ne représente pas le point de contact le plus proche possible.

Sélection des limites d'exposition

Quelles limites d'exposition appliquer? Si l'on considère le pire des cas d'exposition possible, c'est-à-dire si la personne fixe le regard sur la source pendant 8 heures, et le tableau 1.1 de la directive:

Index	Longueur d'onde, nm	Unités	Partie du corps	Risque	Applicabilité
a	180-400 (UVA, UVB, UVC)	$J m^{-2}$	Cornée Conjonctive Cristallin Peau	Photokératite Photoconjonctivite Caractogénèse Érythème Élastose Cancer de la peau	Oui, si la source émet des UV
b	315-400 (UVA)	$J m^{-2}$	Cristallin	Caractogénèse	Oui, si la source émet des UV
c	300-700 (lumière bleue) (quand $\alpha \geq 11$ mrad et $t \leq 10\ 000$ s)	$W m^{-2} sr^{-1}$	Rétine	Photorétinite	Non, le pire des cas serait pour l'exposition maximale
d	300-700 (lumière bleue) (où $\alpha \geq 11$ mrad et $t > 10\ 000$ s)	$W m^{-2} sr^{-1}$			Oui, si la source émet dans la bande visible. Pour le pire des cas d'exposition de 8 heures
e	300-700 (lumière bleue) (où $\alpha < 11$ mrad et $t \leq 10\ 000$ s)	$W m^{-2}$			Rarement, les sources courantes étant généralement larges
f	300-700 (lumière bleue) (où $\alpha < 11$ mrad et $t > 10\ 000$ s)	$W m^{-2}$			
g	380-1 400 (visible et IRA) (où $t > 10$ s)	$W m^{-2} sr^{-1}$			Rétine
h	380-1 400 (visible et IRA) (pour $t 10\ \mu s$ à 10 s)	$W m^{-2} sr^{-1}$	Non, le pire des cas serait pour l'exposition maximale		
i	380-1 400 (visible et IRA) (où $t < 10\ \mu s$)	$W m^{-2} sr^{-1}$			
j	780-1 400 (IRA) (où $t > 10$ s)	Oui, si la source émet des UV	Rétine	Brûlure rétinienne	Rarement, car les sources courantes émettent en général des rayonnements visibles, les limites g , h et i sont donc utilisées
k	780-1 400 (IRA) (pour $t 10\ \mu s$ à 10 s)	$W m^{-2} sr^{-1}$			
l	780-1 400 (IRA) (où $t < 10\ \mu s$)	$W m^{-2} sr^{-1}$			
m	780-1 400 (IRA, IRB) (où $t \leq 1\ 000$ s)	$W m^{-2}$			
n	780-3000 (IRA, IRB) (où $t > 1000$ s)	$W m^{-2}$	Cornée Cristallin	Brûlure de la cornée	
o	380-3 000 (visible, IRA, IRB)	$J m^{-2}$	Peau	Brûlure	Rarement, car ne concerne que les sources industrielles thermogènes puissantes

Par conséquent, les limites d'exposition **a** et **b** (si la source émet des UV) et/ou les limites **d** et **g** (si la source émet des rayonnements visibles ou IRA) sont les plus utilisées.

Dans les cas exceptionnels, il sera nécessaire d'utiliser d'autres limites d'exposition, par exemple la limite **c** si la limite **d** est dépassée, la limite **h** si la limite **g** est dépassée. Ces circonstances deviendront évidentes durant l'évaluation des risques.

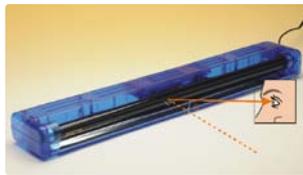
Ces limites d'exposition nécessitent l'utilisation des valeurs de pondération spectrale $S(\lambda)$, $B(\lambda)$ et $R(\lambda)$. Ces facteurs sont expliqués au point 5.2. Leur utilisation nécessitera la connaissance des données spectrales.

Facteurs géométriques

Si la source émet des rayonnements visibles et/ou IR, les limites d'exposition et quantités radiométriques dépendront de facteurs géométriques à calculer. Certains de ces facteurs sont définis dans la directive, d'autres dans le document NF EN 62471 (2008). Si la source émet uniquement des UV, ces facteurs ne sont pas pertinents.

Facteurs géométriques:

θ (angle entre la perpendiculaire et la surface de la source et la ligne de vue utilisée pour le mesurage) (voir diagramme à droite)



Z (dimension moyenne de la source)

α (angle sous-tendu de la source)

C_a (facteur dépendant de α)

ω (angle solide sous-tendu de la source)

Avant d'effectuer le calcul de ces facteurs, il est important de noter si la source émet un champ relativement homogène dans l'espace. Si la source est homogène, toute dimension (longueur, largeur, etc.) se rapporte à la surface entière de la source. S'il est évident que la source n'est pas homogène (lampe brillante devant un réflecteur de mauvaise qualité), il suffit de prendre les dimensions de la zone la plus brillante. Lorsque la source est composée de deux ou plusieurs émetteurs identiques, chaque émetteur est considéré comme une source différente et contribuant au prorata aux émissions mesurées.

Calcul de Z

Longueur apparente, l , de source = longueur réelle $\times \cos\theta$

Largeur apparente, w , de source = largeur réelle $\times \cos\theta$

Z représente la moyenne de l et w

À noter:

- si la source est vue perpendiculairement à la surface, $\cos\theta = 1$
- si la source est circulaire et vue à un angle de 90° , Z est égale au diamètre

la surface apparente, A , de la source est égale à:

la surface réelle $\times \cos\theta$ (pour une source circulaire), ou

$l \times w$ pour toute autre source

Si la distance jusqu'à la source = r , et si toutes les dimensions sont mesurées à l'aide des mêmes unités, alors:

$\alpha = Z/r$, en radians (rad)

$\omega = A/r^2$, en stéradians (sr)

C_a dépend de α , il sert uniquement à calculer la valeur relative aux limites d'exposition établies afin d'éviter les lésions thermiques rétinienne. Toutes les évaluations mentionnées ici étant fondées sur des hypothèses simplificatrices, C_a n'est pas calculé.

Évaluation préliminaire

Selon l'organisme indépendant qui a défini les limites d'exposition, le CIPRNI, il n'est pas nécessaire d'effectuer une évaluation spectrale complète en ce qui concerne les risques de lésions rétinienne associées à la « lumière blanche » d'éclairage courant, dont la luminance est de $< 10^4 \text{ cd m}^{-2}$, c'est-à-dire les lampes incandescentes sans filtre, les lampes fluorescentes et à arc.

Cette limite *ne sera pas* utilisée pour évaluer les risques des émissions d'ultraviolets. Toutefois, elle peut servir à déterminer les risques des émissions visibles et IR.

Aux fins d'appliquer cette limite, la luminance énergétique spectrale entre 380-760 nm peut être pondérée par l'efficacité lumineuse spectrique photopique CIE, $V(\lambda)$, puis cumulée afin de calculer la luminance efficace photopique, E_v . Elle est exprimée en W m^{-2} puis multipliée par un facteur de luminance efficace de 683 lm W^{-1} , ce qui donne comme résultat l'éclairement en lux. La luminance est égale à l'éclairement divisé par ω .

Toutefois, il est à noter que les mesures spectrales de l'éclairement d'un luminaire ne sont pas nécessaires — il suffit d'utiliser un luxmètre correctement calibré et de

qualité pour déterminer cette valeur. Cela permet d'effectuer rapidement et facilement l'évaluation préliminaire.

Données nécessaires

En général, il est utile de collecter les données afférentes à la gamme spectrale complète de toutes les limites d'exposition en question. Ou, tout au moins, les données de 180 nm à 1 400 nm.

Il est possible de réduire la gamme spectrale pour laquelle les données sont nécessaires. Par exemple lorsqu'une limite d'exposition particulière n'est pas pertinente: si une source n'émet pas d'UV, seules les données entre 400 nm et 1 400 nm sont requises.

Certaines sources n'émettent aucun rayonnement dans une bande spectrale spécifique, par exemple:

- les LED émettent un faisceau dans une bande relativement étroite de longueurs d'onde. Afin d'évaluer un LED vert, il suffit d'effectuer des mesurages entre 400 et 600 nm environ, et de supposer que les données au-delà de ses limites sont égales à zéro;
- les sources qui émettent en dessous de 254 nm sont très rares, et rarement présentes sur les lieux de travail;
- la plupart des luminaires sont munis d'abat-jour évitant ainsi les émissions inférieures à environ 350 nm;
- excepté les sources incandescentes, la majorité des sources courantes émettent une quantité négligeable d'infrarouges.

Dans tous les cas, la gamme spectrale des données établie, les données doivent être fournies (en effectuant des mesurages ou par tout autre moyen). L'éclairement énergétique spectrique constitue l'information la plus utile. Il peut être pondéré à l'aide des fonctions $[S(\lambda), B(\lambda), R(\lambda) \text{ et } V(\lambda)]$ pertinentes aux limites d'exposition en question. Les données pondérées doivent ensuite être cumulées.

Hypothèses simplificatrices

Ces hypothèses simplifient les procédés de mesure et d'évaluation pour la bande spectrale des visibles. Elles ne sont d'aucune utilité si les émissions UV sont les seules en question.

Les mesures de l'éclairement énergétique spectrique doivent être effectuées à l'aide d'un instrument approprié: pour les limites d'exposition concernant la rétine, utiliser un

instrument dont le champ de vision est limité aux valeurs spécifiques de γ , selon le temps d'exposition prévu. Le temps prévu pertinent à la limite d'exposition d est de 8 heures, pour la limite g , le temps maximal d'exposition est de 10 secondes, la limite étant constante au-delà de cette période.

Voir tableau 2.5 de la directive pour les valeurs appropriées de γ :

- $\gamma = 110$ mrad pour les limites d'exposition relatives aux lésions rétinienne photochimiques (c'est-à-dire limite d pour des dizaines de milliers d'expositions).
- $\gamma = 11$ mrad pour les limites d'exposition relatives aux lésions rétinienne thermiques (c'est-à-dire limite g pour des dizaines d'exposition)

Ces facteurs de champ de vision semblent dicter des paramètres multiples de mesures. Toutefois, si l'angle sous-tendu d'une source réelle est supérieur à γ , les mesures effectuées avec un champ de vision illimité permettront d'obtenir un éclairement énergétique plus élevé, permettant ainsi d'évaluer les risques avec plus de sûreté. Tous les calculs peuvent alors être effectués à partir d'un seul ensemble de paramètres obtenu d'un champ de vision illimité.

Afin de calculer la luminance à partir des paramètres de d'éclairement énergétique, diviser l'éclairement par un angle solide. Celui-ci doit avoir la valeur réelle de ω , ou une valeur tirée de γ , quelle que soit la plus élevée.

- En ce qui concerne la limite d , le champ de vision doit correspondre à $\gamma = 110$ mrad, ce qui correspond à un angle solide de 0,01 sr.
- En ce qui concerne la limite g , le champ de vision doit correspondre à $\gamma = 11$ mrad, ce qui correspond à un angle solide de 0,0001 sr.

Dans les exemples suivants, ces valeurs sont représentées de la manière suivante:

$\omega =$ angle solide sous-tendu réel de la source

$\omega_B = 0,01$ sr ou ω , la plus élevée des deux valeurs

$\omega_R = 0,0001$ sr ou ω , la plus élevée des deux valeurs

Ces hypothèses simplificatrices donnent parfois des résultats trop élevés pour les sources non homogènes supérieures à γ . Lors de l'évaluation de ces sources, il est préférable d'effectuer de nouveau les mesures avec le champ de vision limité à la valeur pertinente de γ pour éviter de dépasser la limite d'exposition.

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$
Si l'éclairement énergétique efficace E_{eff} est exprimé en W m^{-2} , l'exposition maximale permmissible en secondes = $30 \text{ J m}^{-2} / E_{\text{eff}}$
<i>A > 8 heures, la limite d'exposition ne sera pas dépassée à la distance r.</i>
Limite b
Exposition limite: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$
Si l'éclairement énergétique efficace, E_{UVA} , est exprimé en W m^{-2} , l'exposition maximale permmissible en secondes = $10^4 \text{ J m}^{-2} / E_{\text{UVA}}$
<i>A > 8 heures, la limite d'exposition ne sera pas dépassée à la distance r.</i>
Limite d
Exposition limite: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$
Si l'éclairement énergétique efficace, L_{br} , est inférieur à la limite d'exposition, il n'existe aucun risque de dépassement de la limite d'exposition, quelle que soit la distance, si θ ne change pas.
Limite g
Exposition limite: $2,8 \times 10^7 / C_{\alpha}$. Dans ce cas, C_{α} dépend de α . La limite d'exposition la plus restrictive s'applique lorsque $\alpha \geq 100 \text{ mrad}$. Dans ce cas, $C_{\alpha} = 100 \text{ mrad}$ et la limite d'exposition est égale à $280,000 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.
Si l'éclairement énergétique efficace, L_{br} , est inférieur à la limite d'exposition, il n'existe aucun risque de dépassement de la limite d'exposition, quelle que soit la distance, si θ ne varie pas.

Lorsque les limites d'exposition sont dépassées

Limite de luminance d'après les normes CIPRNI
Si la luminance de la source dépasse 10^4 cd m^{-2} , effectuer une nouvelle évaluation et comparer aux limites d'exposition d et g.
Limite a
Si le temps d'exposition maximale permmissible est < 8 heures, démontrer que l'occupation du lieu à r est inférieure au temps d'exposition maximale permmissible.
Limite b
Si le temps d'exposition maximale permmissible est < 8 heures, démontrer que l'occupation du lieu à r est inférieure au temps d'exposition maximale permmissible. Dans ce cas, exclure toute période durant laquelle le visage est détourné de la source.
Si la source est très lumineuse, on peut supposer que le réflexe naturel de protection limitera les périodes d'exposition à 0,25 seconde.
Limite d
Si L_{b} dépasse la limite d'exposition, recalculer l'exposition maximale permmissible à partir de la limite d'exposition c.
La limite d'exposition c est $L_{\text{b}} \leq 10^6/t$. Ce qui donne un temps d'exposition maximale permmissible de (en secondes) $t_{\text{max}} \leq 10^6/L_{\text{b}}$. Il est alors nécessaire de démontrer que la présence de la personne le long de la ligne de vue θ est inférieure à t_{max} . Dans ce cas, exclure toute période durant laquelle le visage est détourné de la source.
Lorsque la source est très lumineuse, on peut supposer que le réflexe naturel de protection limitera les périodes d'exposition à 0,25 seconde.
Il est aussi possible d'utiliser la limite d'exposition e; utiliser les relations $\alpha = Z/r$ et $L_{\text{b}} = E_{\text{b}}/\omega$ afin de calculer la distance à laquelle $\alpha = 11 \text{ mrad}$. Si, à cette distance ou toute autre distance supérieure, $E_{\text{b}} \leq 10 \text{ mW m}^{-2}$, les limites d'exposition ne sont pas dépassées au-delà de ce point.
Limite g
Si L_{r} est supérieur à la limite d'exposition, il se peut que la limite d'exposition soit trop restrictive: si l'angle sous-tendu réel de la source est $\alpha < 100 \text{ mrad}$, recalculer la limite d'exposition.
Si L_{r} est encore supérieur à la nouvelle limite d'exposition, calculer le temps d'exposition maximale permmissible, à partir de la limite d'exposition h.
Formule de la limite d'exposition h: $L_{\text{r}} \leq 5 \times 10^7 / c_{\alpha} t^{0,25}$, ce qui donne un temps d'exposition permmissible (en secondes) de $t_{\text{max}} \leq (5 \times 10^7 / c_{\alpha} L_{\text{r}})^4$. Utiliser $c_{\alpha} = \alpha$. Il est alors nécessaire de démontrer que la présence de la personne le long de la ligne de vue θ est inférieure à t_{max} . Dans ce cas, exclure toute période durant laquelle le visage est détourné de la source.
Lorsque la source est très lumineuse, on peut supposer que le réflexe naturel de protection limitera les périodes d'exposition à 0,25 seconde.

D.1.2. Exemples

Les exemples ci-après sont présentés selon une série d'étapes similaires aux étapes du tableau ci-dessus. Dans les cas où des hypothèses simplificatrices ont été utilisées, l'exemple est exposé en détail, mais les étapes rendues superflues par les suppositions sont indiquées en gris, permettant ainsi d'appliquer les suppositions initiales à démontrer.

Le résumé des résultats de ces exemples est présenté à la fin de cette annexe.

D.1.3. Plafonnier à ampoules fluorescentes avec diffuseur



Ensemble de lampes d'éclairage général fluorescentes de 3 X 36 W dans un plafonnier de 57,5 cm X 117,5 cm.

Le diffuseur plastique du plafonnier recouvre entièrement les lampes. La source est donc suffisamment homogène.

Sélection des limites d'exposition

Ce type d'éclairage n'émet aucune quantité importante de rayonnements infrarouges. Tout risque sera dû à une exposition aux rayonnements visibles ou ultraviolets. Les ultraviolets seront atténués par le diffuseur plastique. Appliquer uniquement la limite **d**.

Facteurs géométriques

Mesurer l'éclairement énergétique spectrique à une distance de 100 cm du plafonnier, en le regardant directement.

La source mesure en moyenne 87,5 cm.

Donc $\alpha = 0,875$ rad.

La surface de la source mesure 6 756 cm².

Donc $\omega = 0,68$ sr.

Par conséquent $\omega_b = 0,68$ sr et $\omega_r = 0,68$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique mesure 1 477 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 1 009 lux.

La luminance de cette source est donc de 1 009/0,68 = 1 484 cd m⁻².

Aucune autre évaluation n'est nécessaire.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficaces sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} < 10 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 17 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),
 $E_b = 338 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),
 $E_r = 5 424 \text{ mW m}^{-2}$

Hypothèses simplificatrices

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),

$L_b = 338 \text{ mW m}^{-2}/0,68 \text{ sr} = 0,5 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),

$L_r = 5 424 \text{ mW m}^{-2}/0,68 \text{ sr} = 8 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a		
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} < 10 \mu\text{W m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permissible est > 8 heures
Limite b		
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 17 \text{ mW m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permissible est > 8 heures
Limite d		
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 0,5 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g		
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_r = 8 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.4. Tube fluorescent unique sans diffuseur

Une lampe d'éclairage général de 153 cm x 2 cm de 58 W dans un plafonnier comprenant des réflecteurs derrière la lampe, et non fermée. La source n'est pas homogène, la lampe en forme la partie la plus brillante.



Voir également exemple D.1.5.

Sélection des limites d'exposition

Ce type d'éclairage n'émet aucune quantité importante de rayonnements infrarouges. Tout risque sera dû à une exposition aux rayonnements visibles ou ultraviolets. Appliquer les limites **a**, **b** et **d**.

Facteurs géométriques

Mesurer l'éclairement énergétique spectrique à une distance de 100 cm du plafonnier, en le regardant directement.

La source mesure en moyenne 77,5 cm.
Par conséquent $\alpha = 0,775$ rad.

La surface de la lampe mesure 306 cm².
Par conséquent $\omega = 0,03$ sr.
 $\omega_B = 0,03$ sr et $\omega_R = 0,03$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique est calculé à 1 640 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 1 120 lux. La luminance de cette source est donc de $1\ 120/0,03 = 37\ 333$ cd m⁻².
Il est nécessaire d'effectuer d'autres évaluations en ce qui concerne les risques de lésion rétinienne. Les rayonnements d'UV doivent être également évalués.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficaces sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} = 600 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 120 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),
 $E_B = 561 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),
 $E_R = 7\ 843 \text{ mW m}^{-2}$

Hypothèses simplificatrices

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),
 $L_B = 561 \text{ mW m}^{-2}/0,03 \text{ sr} = 19 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),
 $L_R = 7\ 843 \text{ mW m}^{-2}/0,03 \text{ sr} = 261 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a

Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2} \rightarrow E_{\text{eff}} = 600 \mu\text{W m}^{-2} \rightarrow$ Le temps d'exposition maximale permissible est > 8 heures

Limite b

Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2} \rightarrow E_{\text{UVA}} = 120 \text{ mW m}^{-2} \rightarrow$ Le temps d'exposition maximale permissible est > 8 heures

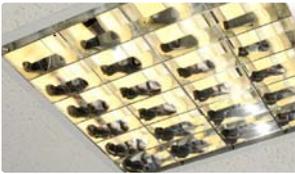
Limite d

Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow L_B = 19 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow$ La limite d'exposition n'est pas dépassée

Limite g

Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow L_R = 261 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow$ La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.5. Plafonnier de lampes fluorescentes sans diffuseur



Quatre lampes fluorescentes d'éclairage général de 57 cm x 2 cm de 18 W dans un plafonnier de 57 cm x 57 cm avec réflecteurs derrière chaque lampe et non fermé. Semblable au plafonnier de l'exemple D.1.4, mais les lampes sont fournies par un différent fabricant. La source n'est pas homogène, les quatre lampes formant les émetteurs les plus brillants de l'ensemble.

Chaque lampe mesure en moyenne 29,5 cm. Par conséquent $\alpha = 0,295$ rad. La surface de chaque lampe mesure 114 cm². Par conséquent $\omega = 0,011$ sr. $\omega_B = 0,011$ sr and $\omega_R = 0,011$ sr.

Sélection des limites d'exposition

Ce type d'éclairage n'émet aucune quantité importante de rayonnements infrarouges. Tout risque sera dû à une exposition aux rayonnements visibles ou ultraviolets. Appliquer les limites **a**, **b** et **d**.

Facteurs géométriques

L'éclairage énergétique efficace sera mesuré à une distance de 100 cm du plafonnier, en le regardant directement.

Chaque lampe mesure en moyenne 29,5 cm.

Par conséquent $\alpha = 0,295$ rad.

La surface de chaque lampe mesure 114 cm².

Par conséquent $\omega = 0,011$ sr.

$\omega_B = 0,011$ sr and $\omega_R = 0,011$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairage énergétique efficace photopique calculé est de 1 788 mW m⁻². Ceci de 4 lampes, chaque lampe représentant une source visuelle unique qui contribue pour 447 mW m⁻² au total. Ce qui équivaut à un éclairage de 305 lux par lampe.

La luminance de cette source est donc de

$$305/0,011 = 28,000 \text{ cd m}^{-2}.$$

Il est nécessaire d'effectuer d'autres évaluations en ce qui concerne les risques de lésion rétinienne. Les rayonnements d'UV doivent être également évalués.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairage énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

$$\text{Éclairage énergétique efficace } E_{\text{eff}} = 1,04 \text{ mW m}^{-2}$$

$$\text{Éclairage énergétique UVA, } E_{\text{UVA}} = 115 \text{ mW m}^{-2}$$

$$\text{Éclairage énergétique efficace (lumière bleue),}$$

$$E_B = 555 \text{ mW m}^{-2} = 139 \text{ mW m}^{-2} \text{ par lampe.}$$

$$\text{Éclairage énergétique efficace (lésion thermique),}$$

$$E_R = 8\,035 \text{ mW m}^{-2} = 2\,009 \text{ mW m}^{-2} \text{ par lampe}$$

Hypothèses simplificatrices

$$\text{Éclairage énergétique efficace (lumière bleue),}$$

$$L_B = 139 \text{ mW m}^{-2}/0,011 \text{ sr} = 13 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$

$$\text{Luminance énergétique efficace (lésion thermique),}$$

$$L_R = 2\,009 \text{ mW m}^{-2}/0,011 \text{ sr} = 183 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a			
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} = 1,04 \text{ mW m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permissible est de 8 heures. Dépasse presque la limite d'exposition

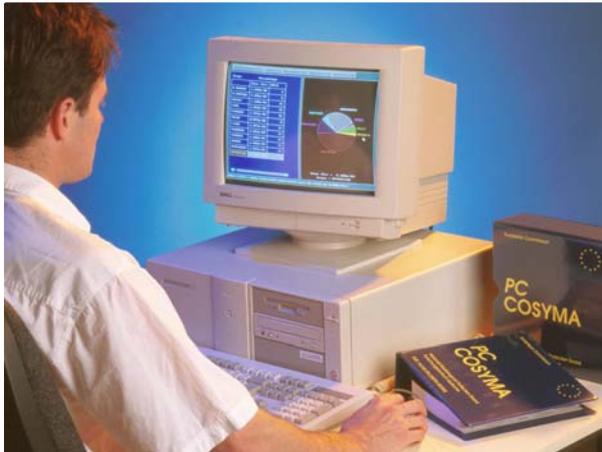
Bien qu'en réalité une exposition constante à 100 cm soit peu probable, ne pas l'ignorer lorsque des sources UV sont présentes dans l'environnement.

Limite b			
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 115 \text{ mW m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permissible est > 8 heures

Limite d			
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_B = 13 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée

Limite g			
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_R = 183 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.6. Écran d'affichage à tube cathodique



Les ordinateurs individuels de bureau comprennent un écran à tube cathodique.

Sélection des limites d'exposition

Les tubes cathodiques n'émettent aucune quantité importante de rayonnements ultraviolets ou infrarouges. Tout risque sera dû à l'exposition aux rayonnements visibles. Appliquer la limite **d**.

Facteurs géométriques

L'écran mélange trois couleurs primaires afin de produire des images couleur. Le pire des cas étant lorsque toutes les trois couleurs primaires sont présentes, et forment une image blanche. L'éclairement énergétique spectrique sera mesuré à une distance de 10 cm d'un rectangle blanc, en le regardant directement.

La source mesure en moyenne 17 cm.

Par conséquent $\alpha = 1,7$ rad

La surface de la source mesure 250 cm².

Par conséquent $\omega = 2,5$ sr.

Donc $\omega_b = 2,5$ sr et $\omega_r = 2,5$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 64 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 43 lux.

La luminance de cette source est donc de $43/2,5 = 17$ cd m⁻².

Aucune autre évaluation n'est nécessaire.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} = 130 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 8 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),
 $E_b = 61 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),
 $E_r = 716 \text{ mW m}^{-2}$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),

$L_b = 61 \text{ mW m}^{-2} / 2,5 \text{ sr} = 24 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),
 $L_r = 716 \text{ mW m}^{-2} / 2,5 \text{ sr} = 286 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a		
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→ $E_{\text{eff}} = 130 \mu\text{W m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b		
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→ $E_{\text{UVA}} = 8 \text{ mW m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d		
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ $L_b = 24 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g		
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ $L_r = 286 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.7. Écran d'ordinateur portable



Les ordinateurs portables ont un écran LCD.

Sélection des limites d'exposition

Les écrans LCD émettent de minimes quantités d'ultraviolets ou infrarouges. Tout risque est associé à l'exposition aux longueurs d'onde de rayonnements visibles. Appliquer la limite **d**.

Facteurs géométriques

L'écran LCD mélange trois couleurs primaires afin de produire des images couleur. Le pire des cas étant lorsque toutes les trois couleurs primaires sont présentes, et forment une image blanche. L'éclairement énergétique spectrique sera mesuré à une distance de 10 cm d'un rectangle blanc, en le regardant directement.

La source mesure en moyenne 13 cm.

Par conséquent $\alpha = 1,3$ rad

La surface de la source mesure 173 cm².

Par conséquent $\omega = 1,7$ sr.

Donc $\omega_b = 1,7$ sr and $\omega_r = 1,7$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 134 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 92 lux.

La luminance de la source est donc égale à $92/1,7 = 54$ cd m⁻².

Aucune autre évaluation n'est nécessaire.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} = 70 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 4 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),
 $E_b = 62 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),
 $E_r = 794 \text{ mW m}^{-2}$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),
 $L_b = 62 \text{ mW m}^{-2} / 1,7 \text{ sr} = 36 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),
 $L_r = 794 \text{ mW m}^{-2} / 1,7 \text{ sr} = 467 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a		
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} = 70 \mu\text{W m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permissible est > 8 heures
Limite b		
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 4 \text{ mW m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permissible est > 8 heures
Limite d		
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 36 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g		
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_r = 467 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.8. Projecteur de lumière extérieur à lampe aux halogénures métalliques



Une lampe aux halogénures métalliques de 70 W est incorporée dans un socle fermé comprenant un réflecteur au fond de 18 x 18 cm. À attacher sur les parapets des bâtiments afin d'éclairer le périmètre. La source n'est pas homogène — la bande la plus brillante est l'arc lui-même, plus ou moins sphérique et d'un diamètre de 5 mm environ.

Sélection des limites d'exposition

Tout risque surviendra suite à une exposition aux longueurs d'onde d'ultraviolets ou visibles. Les lampes à halogénures métalliques émettent une grande quantité d'ultraviolets: le boîtier de l'exemple ci-dessus réduit quelque peu les émissions; il est fermé de façon à les réduire, mais il se peut que la lampe émette encore des quantités nocives d'UVA. Appliquer les limites **b**, **d** et **g**.

Facteurs géométriques

L'éclairement énergétique efficace sera mesuré à une distance de 100 cm de la lampe, en la regardant directement.

La dimension moyenne de l'arc est de 0,5 cm.

Par conséquent $\alpha = 0,005$ rad. Ce qui veut dire < 11 mrad, la limite **d** peut donc être remplacée par la limite **f** lors de la fixation intentionnelle du regard sur la lampe. Cela n'étant pas le cas, utiliser la limite **d** durant l'évaluation.

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a	
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	$\rightarrow E_{\text{eff}} = 110 \mu\text{W m}^{-2} \rightarrow$ Le temps d'exposition maximale permissible est > 8 heures
Limite b	
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	$\rightarrow E_{\text{UVA}} = 915 \text{ mW m}^{-2} \rightarrow$ Le temps d'exposition maximale permissible est de 3 heures Toutefois, l'intensité de la lumière de la lampe limitera la durée d'exposition à 0,25 seconde
Limite d	
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$\rightarrow L_{\text{b}} = 233 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow$ La limite d'exposition est dépassée Par conséquent, utiliser la limite c pour calculer le temps d'exposition maximale permissible
Limite c	
Limite d'exposition: $L_{\text{b}} < 10^6 / t \text{ W m}^{-2}$	$\rightarrow t_{\text{max}} = 10^6 / L_{\text{b}} \rightarrow$ Le temps d'exposition maximale permissible pour cette source est de 70 minutes environ Toutefois, l'intensité de la lumière de la lampe limitera la durée d'exposition à 0,25 seconde
Nota: en cas de fixation du regard intentionnelle, t_{max} est basé sur la limite e = $100 / E_{\text{b}}$, ou approximativement 40 secondes	
Limite g	
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$\rightarrow L_{\text{r}} = 302 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow$ La limite d'exposition est dépassée, selon la supposition que $\alpha > 0,1$ rad Lorsque la limite d'exposition est recalculée d'après le α réel (= 5 mrad), on obtient une limite d'exposition plus précise de $5\,600 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$. Dans ce cas, la limite d'exposition n'est pas dépassée.

Voir note 2 du tableau 1.1 de la directive.

La surface de la source mesure $0,2 \text{ cm}^2$.

Par conséquent $\omega = 0,00002 \text{ sr}$.

Par conséquent $\omega_{\text{b}} = 0,01 \text{ sr}$ et $\omega_{\text{r}} = 0,0001 \text{ sr}$.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de $4\,369 \text{ mW m}^{-2}$. Ce qui équivaut à un éclairement de $2\,984 \text{ lux}$.

La luminance de la source est donc:

$$2\,984 / 0,00002 = 149\,000\,000 \text{ cd m}^{-2}.$$

Il est impératif d'évaluer plus précisément les risques d'effets nocifs sur la rétine ainsi que les risques potentiels associés aux UV.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

$$\text{Éclairement énergétique efficace } E_{\text{eff}} = 110 \mu\text{W m}^{-2}$$

$$\text{Éclairement énergétique UVA, } E_{\text{UVA}} = 915 \text{ mW m}^{-2}$$

$$\text{Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),}$$

$$E_{\text{b}} = 2\,329 \text{ mW m}^{-2}$$

$$\text{Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),}$$

$$E_{\text{r}} = 30\,172 \text{ mW m}^{-2}$$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),

$$L_{\text{b}} = 2\,329 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ sr} = 233 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}.$$

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),

$$L_{\text{r}} = 30\,172 \text{ mW m}^{-2} / 0,0001 \text{ sr} = 302 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}.$$

D.1.9. Projecteur extérieur avec lampe fluorescente compacte



Il comprend une lampe fluorescente compacte de 26 W et de 3 x 13 cm, ainsi qu'un réflecteur arrière brut et une plaque avant transparente. À attacher sur les parapets des bâtiments afin d'éclairer le périmètre. La lampe constitue l'émetteur le plus puissant de cette source non homogène.

Sélection des limites d'exposition

Ce type d'éclairage n'émet aucune quantité importante de rayonnements infrarouges. Tout risque sera dû à une exposition aux rayonnements visibles ou ultraviolets. Les ultraviolets seront également atténués par le diffuseur plastique. Appliquer la limite **d**.

Facteurs géométriques

L'éclairement énergétique efficace sera mesuré à une distance de 100 cm de la lampe, en la regardant directement.

La source mesure en moyenne 8 cm.

Par conséquent = 0,08 rad.

La surface de la source mesure 39 cm².

Par conséquent $\omega = 0,0039$ sr.

Donc $\omega_b = 0,01$ sr et $\omega_r = 0,0039$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 366 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 250 lux.

La luminance de cette source est donc 250/0,0039 = 64 000 cd m⁻².

Il est impératif d'effectuer des évaluations plus approfondies afin d'établir les risques de lésion rétinienne.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} = 10 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 2 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),
 $E_b = 149 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),
 $E_r = 1\,962 \text{ mW m}^{-2}$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),
 $L_b = 149 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ sr} = 15 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),
 $L_r = 1\,962 \text{ mW m}^{-2} / 0,0039 \text{ sr} = 503 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a

Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2} \rightarrow E_{\text{eff}} = 10 \mu\text{W m}^{-2} \rightarrow$ Le temps d'exposition maximale permissible est > 8 heures

Limite b

Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2} \rightarrow E_{\text{UVA}} = 2 \text{ mW m}^{-2} \rightarrow$ Le temps d'exposition maximale permissible est > 8 heures

Limite d

Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow L_b = 15 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow$ La limite d'exposition n'est pas dépassée

Limite g

Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow L_r = 503 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow$ La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.10. Désinsectiseur électronique



Les désinsectiseurs électroniques sont généralement équipés de lampes à décharge basse pression à vapeur de mercure. Celles-ci émettent dans les bandes UVA et bleue du spectre afin d'attirer les insectes sur des grilles de haute tension. Ce modèle consomme 25 W et comprend deux lampes (26 x 1 cm chacune) montées horizontalement à 10 cm l'une de l'autre.

Sélection des limites d'exposition

Les désinsectiseurs électroniques doivent être conformes à la norme de produits NF EN 60335-2-59, qui spécifie que l'éclairement énergétique UVR_{eff} à 1 m doit être inférieur ou égal à 1 mW m⁻². Il n'est donc pas nécessaire d'appliquer la limite **a**. La limite **b** est toutefois applicable. Il n'est pas nécessaire de calculer la luminance pour des mesures de prévention étant donné que ces appareils n'émettent pas de lumière blanche. Les désinsectiseurs électroniques provoquent peu de stimulation visuelle, il ne sera donc pas nécessaire d'évaluer les risques de lésions rétinienne.

Facteurs géométriques

Calculer l'éclairement énergétique spectrique à 100 cm du désinsectiseur électronique. Celui-ci étant monté sur le mur, effectuer les mesures à hauteur de la tête. Le détecteur sera orienté vers le désinsectiseur à un angle d'environ 30° de l'horizontale. Les lampes du désinsectiseur sont circulaires et posées transversalement; elles sont donc observées à un angle de 90° par rapport à leur surface.

Chaque lampe mesure en moyenne 13,5 cm.

Par conséquent $\alpha = 0,135$ rad.

La surface de chaque lampe mesure 26 cm².

Par conséquent $\omega = 0,0026$ sr.

Donc $\omega_b = 0,01$ sr et $\omega_r = 0,0026$ sr.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} = 10 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 34 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),
 $E_b = 17 \text{ mW m}^{-2} = 8,5 \text{ mW m}^{-2}$ par lampe

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),
 $E_r = 172 \text{ mW m}^{-2} = 86 \text{ mW m}^{-2}$ par lampe

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),
 $L_b = 8,5 \text{ mW m}^{-2}/0,01 \text{ sr} = 0,85 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),
 $L_r = 86 \text{ mW m}^{-2}/0,0026 \text{ sr} = 33 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a			
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} = 10 \mu\text{W m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b			
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 34 \text{ mW m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d			
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 0,85 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g			
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_r = 33 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.11. Spot encastré au plafond



Les spots scellés au plafond sont composés d'une lampe tungstène halogène de 50 W à réflecteur dichroïque et sont recouverts d'une plaque en verre. Le diamètre du spot fermé mesure 4 cm. Allumée, la source semble homogène.

Sélection des limites d'exposition

Tout risque potentiel surviendra suite à une exposition aux longueurs d'onde de rayonnements visibles (les lampes halogène tungstène émettent des ultraviolets, toutefois le spot ci-dessus est scellé afin de réduire les émissions). Appliquer les limites **d** et **g**.

Facteurs géométriques

Calculer l'éclairement énergétique spectrique à une distance de 100 cm de la lampe, en la regardant directement.

La source mesure en moyenne 4 cm.
Par conséquent $\alpha = 0,04$ rad.

La surface de la source mesure 13 cm^2 .
Par conséquent $\omega = 0,001$ sr.
Donc $\omega_b = 0,01$ sr et $\omega_r = 0,001$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 484 mW m^{-2} . Ce qui équivaut à un éclairement de 331 lux.

La luminance de la source est donc de $331/0,001 = 331\,000 \text{ cd m}^{-2}$.

Il est impératif d'effectuer l'évaluation des risques de lésions rétiniennes pour ces appliques.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} = 30 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 12 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),
 $E_b = 129 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),
 $E_r = 2\,998 \text{ mW m}^{-2}$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),
 $L_b = 129 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ sr} = 12,9 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),
 $L_r = 2\,998 \text{ mW m}^{-2} / 0,001 \text{ sr} = 2\,998 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a			
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} = 30 \mu\text{W m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b			
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 12 \text{ mW m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d			
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 12,9 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g			
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_r = 2\,998 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.12. Lampe de bureau



Lampe avec ampoule tungstène courante dans un abat-jour ouvert. Le diamètre de l'abat-jour est de 17 cm. Le diamètre de l'ampoule au fini diffus est de 5,5 cm. La source n'est pas homogène, l'ampoule étant un émetteur plus puissant que le réflecteur.

Sélection des limites d'exposition

Tout risque potentiel surviendra suite à l'exposition aux longueurs d'onde visibles (les filaments tungstène émettent des ultraviolets, mais l'ampoule en verre fait office de filtre). Appliquer les limites **d** et **g**.

Facteurs géométriques

Calculer l'éclairement énergétique spectrique à une distance de 50 cm de la lampe, en la regardant directement

La lampe mesure en moyenne 5,5 cm.
Par conséquent $\alpha = 0,11$ rad.
La surface de la source mesure 24 cm².

Par conséquent $\omega = 0,0096$ sr.
Donc $\omega_b = 0,01$ sr et $\omega_r = 0,0096$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 522 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 357 lux.

La luminance de cette source est donc:
 $357/0,006 = 37\ 188$ cd m⁻².

L'évaluation des risques de lésions rétinienne est nécessaire pour ces appliques.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} = 50 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 18 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),
 $E_b = 92 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),
 $E_r = 4\ 815 \text{ mW m}^{-2}$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),
 $L_b = 92 \text{ mW m}^{-2} / 0,1 \text{ sr} = 0,92 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),
 $L_r = 4\ 815 \text{ mW m}^{-2} / 0,0096 \text{ sr} = 501 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a			
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} = 50 \mu\text{W m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b			
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 18 \text{ mW m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d			
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 0,92 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g			
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_r = 501 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.13. Lampe de bureau «à spectre solaire»



Lampe de bureau avec ampoule tungstène 60 W ouverte. L'ampoule est teinte afin d'imiter les couleurs de la lumière naturelle, toutefois sa surface n'a pas de fini permettant la transmission diffuse de la lumière. Le diamètre de l'abat-jour est de 14 cm. La source n'est pas homogène. Lorsque la

lampe est allumée, le filament est clairement visible. Il est difficile d'établir exactement les dimensions du filament, mais il mesure approximativement 3 cm de long pour un diamètre de 0,5 mm environ.

Sélection des limites d'exposition

Tout risque potentiel surviendra suite à l'exposition aux longueurs d'onde visibles (les filaments tungstène émettent des ultraviolets, mais l'ampoule en verre fait office de filtre). Appliquer les limites **d** et **g**.

Facteurs géométriques

Calculer l'éclairement énergétique spectrique à une distance de 50 cm de la lampe, en la regardant directement

Le filament mesure environ 1,5 cm.

Par conséquent $\alpha = 0,03$ rad.

La surface du filament mesure 0,15 cm².

Par conséquent $\omega = 0,00006$ sr.

Donc $\omega_b = 0,01$ sr et $\omega_r = 0,0001$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 559 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 383 lux.

La luminance de cette source est donc:

$$382/0,00006 = 6\,000\,000 \text{ cd m}^{-2}$$

Il est essentiel d'effectuer une évaluation des risques de lésions rétinienne associées à ces appliques.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

$$\text{Éclairement énergétique efficace } E_{\text{eff}} = 110 \mu\text{W m}^{-2}$$

$$\text{Éclairement énergétique UVA, } E_{\text{UVA}} = 26 \text{ mW m}^{-2}$$

$$\text{Éclairement énergétique efficace (lumière bleue), } E_b = 138 \text{ mW m}^{-2}$$

$$\text{Éclairement énergétique efficace (lésion thermique), } E_r = 5\,172 \text{ mW m}^{-2}$$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),

$$L_b = 138 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ sr} = 14 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),

$$L_r = 5\,172 \text{ mW m}^{-2} / 0,0001 \text{ sr} = 52 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a		
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} = 110 \mu\text{W m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b		
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 26 \text{ mW m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d		
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 14 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g		
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_r = 52 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.14. Photocopieuses



La source de lumière de balayage des photocopieuses est composée de deux lamelles illuminées. Elles sont visibles sur la gauche de la surface en verre de la photocopieuse comme indiquée sur la photo de droite. Chaque lamelle illuminée est d'une largeur approximative de 3 mm.

Sélection des limites d'exposition

Tout risque potentiel surviendra suite à une exposition aux longueurs d'onde de rayonnements visibles (la surface en verre réduit les émissions de rayonnements ultraviolets). Appliquer les limites **d** et **g**.

Facteurs géométriques

L'éclairement énergétique spectrique sera calculé à une distance de 30 cm de la surface en verre. La distance entre la surface en verre et la source de rayonnements optiques est négligeable. Effectuer les calculs en regardant directement la source: une mesure plus que prudente, car l'exposition se produira en général à un angle.

Chaque source mesure environ 10,7 cm.

Par conséquent $\alpha = 0,36$ rad.

La surface de chaque source mesure 6,3 cm².

Par conséquent $\omega = 0,007$ sr.

Donc $\omega_b = 0,01$ sr et $\omega_r = 0,007$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 197 mW m⁻². Il provient de deux lamelles: chaque lamelle formant une source visuelle distincte, chacune contribue 98,5 mW m⁻² au total. Ce qui équivaut à un éclairement de 67 lux par lamelle.

La luminance de la source est donc:

$$67/0,007 = 9\,643 \text{ cd m}^{-2}.$$

Aucune autre évaluation n'est nécessaire.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

$$\text{Éclairement énergétique efficace } E_{\text{eff}} = 10 \mu\text{W m}^{-2}$$

$$\text{Éclairement énergétique UVA, } E_{\text{UVA}} = 22 \text{ mW m}^{-2}$$

$$\text{Éclairement énergétique efficace (lumière bleue), } E_b = 124 \text{ mW m}^{-2} = 62 \text{ mW m}^{-2} \text{ per strip.}$$

$$\text{Éclairement énergétique efficace (lésion thermique), } E_R = 1\,606 \text{ mW m}^{-2} = 803 \text{ mW m}^{-2} \text{ per strip.}$$

Hypothèses simplificatrices

$$\text{Luminance énergétique efficace (lumière bleue), } L_b = 62 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ sr} = 6,2 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}.$$

$$\text{Luminance énergétique efficace (lésion thermique), } L_R = 803 \text{ mW m}^{-2} / 0,007 \text{ sr} = 115 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}.$$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a			
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} = 10 \mu\text{W m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b			
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 22 \text{ mW m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d			
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 6,2 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g			
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_R = 115 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.15. Vidéoprojecteur numérique de bureau



Un vidéoprojecteur 150 W comprend un objectif de projection de 4,7 cm de diamètre.

Voir également l'exemple D.1.16.

Le projecteur crée des images en mélangeant les trois couleurs primaires. Dans le pire des cas, les trois couleurs sont présentes, avec comme résultat la projection d'une image blanche. Il est possible de créer une image blanche vierge à l'aide d'un progiciel graphique. Calculer l'éclairement énergétique spectrique à 200 cm du projecteur, lorsque le projecteur est mis au point afin de produire la plus petite image nette possible. À cette distance, le diamètre apparent de l'objectif est de 4,7 cm. Toutefois, l'objectif n'est pas illuminé de façon homogène lors de son utilisation. La surface principale illuminée a un diamètre de 3 cm.

Sélection des limites d'exposition

Cette catégorie de sources n'émet pas de quantités mesurables d'ultraviolets ou d'infrarouges, les seuls risques surviendront donc suite à l'exposition aux longueurs d'onde de rayonnements visibles. Appliquer les limites d'exposition **d** et **g**.

Facteurs géométriques

Les trois couleurs primaires se mélangent afin de créer des images couleurs. Dans le pire des cas, les trois couleurs

sont présentes, avec comme résultat la projection d'une image blanche. Calculer l'éclairement énergétique spectrique à 200 cm du projecteur en le regardant directement.

La source mesure en moyenne 3 cm.

Par conséquent $\alpha = 0,02$ rad.

La surface de la source mesure 7 cm².

Par conséquent $\omega = 0,0001$ sr.

Donc $\omega_B = 0,01$ sr et $\omega_R = 0,0001$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 2 984 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 2 038 lux.

La luminance de cette source est donc:

$$2\,038/0,0001 = 20\,000\,000 \text{ cd m}^{-2}.$$

Il est essentiel d'effectuer une évaluation des risques de lésions rétiniennes associés à ces appareils.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

$$\text{Éclairement énergétique efficace } E_{\text{eff}} = 30 \mu\text{W m}^{-2}$$

$$\text{Éclairement énergétique UVA, } E_{\text{UVA}} = 1,0 \text{ mW m}^{-2}$$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),

$$E_B = 2\,237 \text{ mW m}^{-2}$$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),

$$E_R = 24\,988 \text{ mW m}^{-2}$$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),

$$L_B = 2\,237 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ msr} = 224 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}.$$

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),

$$L_R = 24\,988 \text{ mW m}^{-2} / 0,0001 \text{ msr} = 250 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}.$$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a		
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} = 30 \mu\text{W m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b		
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 1 \text{ mW m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d		
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 224 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition est dépassée
Par conséquent, utiliser la limite c afin de calculer le temps d'exposition maximale permmissible		
Limite c		
Limite d'exposition: $L_b < 10^6/t \text{ W m}^{-2}$	→	$t_{\text{max}} = 10^6/L_b$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est de 70 minutes environ
Toutefois, l'intensité lumineuse de cette source tendra à limiter chaque période d'exposition à environ 0,25 seconde		
Limite g		
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_R = 250 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition est dépassée

D.1.16. Vidéoprojecteur numérique portable



Vidéoprojecteur numérique 180 W avec un objectif de projection de 3,5 cm de diamètre. Voir également exemple D.1.15.

Le projecteur crée des images en mélangeant les trois couleurs primaires. Dans le pire des cas, les trois couleurs sont présentes, avec comme résultat la projection d'une image blanche. Il est possible de créer une image blanche vierge à l'aide d'un progiciel graphique. Calculer l'éclairement énergétique spectrique à 200 cm du projecteur, lorsque le projecteur est mis au point afin de produire la plus petite image nette possible. L'objectif de projection a un diamètre de 3,5 cm et a une apparence homogène lors de son utilisation.

Sélection des limites d'exposition

Cette catégorie de sources n'émet pas de quantités mesurables d'ultraviolets ou d'infrarouges, les seuls risques surviendront donc suite à l'exposition aux longueurs d'onde de rayonnements visibles. Appliquer les limites d'exposition **d** et **g**.

Facteurs géométriques

Le projecteur crée des images en mélangeant les trois couleurs primaires. Dans le pire des cas, les trois couleurs sont présentes, avec comme résultat la projection d'une

image blanche. Calculer l'éclairement énergétique spectrique à 200 cm de la lampe, en la regardant directement.

La source mesure environ 3,5 cm.

Par conséquent $\alpha = 0,02$ rad.

La surface de la source mesure 9,6 cm².

Par conséquent $\omega = 0,0002$ sr.

Donc $\omega_b = 0,01$ sr et $\omega_r = 0,0002$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 681 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 465 lux.

La luminance de cette source est donc:

$$465/0,0002 = 2\,325\,000 \text{ cd m}^{-2}.$$

Il est essentiel d'effectuer une évaluation plus approfondie des risques de lésions rétinienne associées à ces appareils.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} = > 10 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 0,5 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue), $E_b = 440 \text{ mW m}^{-2}$

Eclairement énergétique efficace (lésion thermique), $E_r = 5\,333 \text{ mW m}^{-2}$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),

$$L_b = 440 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ msr} = 44 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}.$$

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),

$$L_r = 5\,333 \text{ mW m}^{-2} / 0,0002 \text{ msr} = 27 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}.$$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a			
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} = 30 \mu\text{W m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b			
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 1 \text{ mW m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d			
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 44 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g			
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_r = 27 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.17. Tableau blanc de conférence interactif numérique



Tableau blanc mural interactif numérique de 113 x 65 cm.

Sélection des limites d'exposition

Cette catégorie de sources n'émet pas de quantités mesurables d'ultraviolets ou d'infrarouges, les seuls risques surviendront donc suite à l'exposition aux longueurs d'onde de rayonnements visibles. Appliquer la limite d'exposition **d**.

Facteurs géométriques

Le tableau blanc interactif crée des images en mélangeant les trois couleurs primaires. Dans le pire des cas, les trois couleurs sont présentes, avec comme résultat la projection d'une image blanche. Calculer l'éclairement énergétique spectrique à 200 cm de la source, en la regardant directement.

La source mesure en moyenne 89 cm.

Par conséquent $\alpha = 0,45$ rad.

La surface de la source mesure 7 345 cm².

Par conséquent $\omega = 0,18$ sr.

Donc $\omega_B = 0,18$ sr et $\omega_R = 0,18$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 11 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 8 lux.

La luminance de la source est donc: $8/0,18 = 44$ cd m⁻².

Aucune autre évaluation n'est nécessaire.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} < 10 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 250 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),
 $E_B = 10 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),
 $E_R = 112 \text{ mW m}^{-2}$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),
 $L_B = 10 \text{ mW m}^{-2} / 0,18 \text{ sr} = 56 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),
 $L_R = 112 \text{ mW m}^{-2} / 0,18 \text{ sr} = 0,6 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Comparaison avec les limites d'exposition

		Limite a		
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} < 10 \mu\text{W m}^{-2}$	→	Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
		Limite b		
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 250 \mu\text{W m}^{-2}$	→	Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
		Limite d		
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_B = 56 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	La limite d'exposition n'est pas dépassée
		Limite g		
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_R = 0,6 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.18. Lampe fluorescente compacte encastrée au plafond



Comprend deux lampes fluorescentes de 2 cm x 13 cm 26 W dans un socle ouvert et encastré au plafond. Le socle, de 17 cm de diamètre, comprend un réflecteur arrière. Le réflecteur est

de haute qualité, la source est d'apparence presque entièrement homogène. Pour des raisons de sécurité, l'évaluer comme si elle n'était pas homogène.

Sélection des limites d'exposition

Ce type de lampe émet des quantités insignifiantes d'infrarouges. Tout risque surviendra suite à une exposition aux longueurs d'onde de rayonnements visibles ou ultraviolets. Appliquer les limites **a**, **b** et **d**.

Facteurs géométriques

Calculer l'éclairement énergétique spectrique à 100 cm de la lampe, en la regardant directement.

Chaque lampe mesure en moyenne 7,5 cm.

Par conséquent $\alpha = 0,075$ rad.

La surface de chaque lampe mesure 26 cm².

Par conséquent $\omega = 0,0026$ sr.

Donc $\omega_b = 0,01$ sr et $\omega_r = 0,0026$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 1 558 mW m⁻². Ceci des deux lampes: chaque lampe constitue une source visuelle distincte, chacune d'entre elles contribue donc pour 779 mW m⁻² au total. Ce qui équivaut à un éclairement de 532 lux par lampe.

La luminance de chaque lampe est donc:

$$532/0,0026 = 204,615 \text{ cd m}^{-2}.$$

Il est essentiel d'effectuer une évaluation plus approfondie des risques de lésions rétinienne associées à ces appliques. Les rayonnements UV doivent être également évalués.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} = 40 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 55 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),

$$E_b = 321 \text{ mW m}^{-2} = 161 \text{ mW m}^{-2} \text{ par lampe.}$$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),

$$E_r = 5 580 \text{ mW m}^{-2} = 2 790 \text{ mW m}^{-2} \text{ par lampe.}$$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),

$$L_b = 161 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ sr} = 16 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}.$$

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),

$$L_r = 2 790 \text{ mW m}^{-2} / 0,0026 \text{ sr} = 1 073 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a		
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} = 40 \mu\text{W m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b		
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 55 \text{ mW m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d		
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 16 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g		
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_r = 1 073 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.19. Voyant LED

Les LED verts servent d'indicateurs sur les claviers. Chaque LED est considéré comme une source distincte, et mesure 1 x 4 mm.



Sélection des limites d'exposition

Les LED émettent uniquement dans une bande étroite de longueurs d'ondes: le LED ci-dessus étant vert, il n'émet aucun ultraviolet ou infrarouge. Seule la limite **d** est applicable.

Facteurs géométriques

Calculer l'éclairement énergétique spectrique à 5 mm du LED, en le regardant directement.

Le LED mesure en moyenne 2,5 mm
Par conséquent $\alpha = 0,5$ rad.

La surface du LED mesure 4 mm².
Par conséquent $\omega = 0,16$ sr.
Donc $\omega_b = 0,16$ sr et $\omega_r = 0,16$ sr.

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 30 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 20 lux.
La luminance du LED est donc: $20/0,16 = 125$ cd m⁻².
Aucune autre évaluation n'est nécessaire.

Données nécessaires

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} < 10 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 40 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),
 $E_b = 190 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),
 $E_r = 35 \text{ mW m}^{-2}$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),
 $L_b = 190 \mu\text{W m}^{-2} / 0,16 \text{ sr} = 1,2 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),
 $L_r = 35 \text{ mW m}^{-2} / 0,16 \text{ sr} = 0,22 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a		
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} < 10 \mu\text{W m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b		
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 40 \mu\text{W m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d		
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 1,2 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g		
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_r = 0,22 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.20. PDA

Organisateur personnel numérique (PDA) avec un écran d'affichage de 5 cm x 3,5 cm.



Sélection des limites d'exposition

Les écrans d'affichage des PDA émettent peu de rayonnements ultraviolets ou infrarouges. Tout risque surviendra suite à une exposition aux longueurs d'onde des rayonnements visibles. Appliquer la limite **d**.

Facteurs géométriques

L'écran crée des images en mélangeant les trois couleurs primaires. Dans le pire des cas, les trois couleurs sont présentes, avec comme résultat l'affichage d'une image blanche. Calculer l'éclairement énergétique spectrique à 2 cm de l'écran lorsque celui-ci est aussi blanc que possible, en le regardant directement.

La source mesure en moyenne 4,25 cm.

Par conséquent $\alpha = 2,1$ rad

La surface de la source mesure 17,5 cm².

Par conséquent $\omega = 4,4$ sr

Donc $\omega_b = 4,4$ sr et $\omega_r = 4,4$ sr

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 47 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 32 lux.

La luminance de cette source est donc:

$$32/4,4 = 7,3 \text{ cd m}^{-2}$$

Aucune autre évaluation n'est nécessaire.

Données requises

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} < 10 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 30 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue), $E_b = 27 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique), $E_r = 330 \text{ mW m}^{-2}$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue), $L_b = 27 \text{ mW m}^{-2} / 4,4 \text{ sr} = 6 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

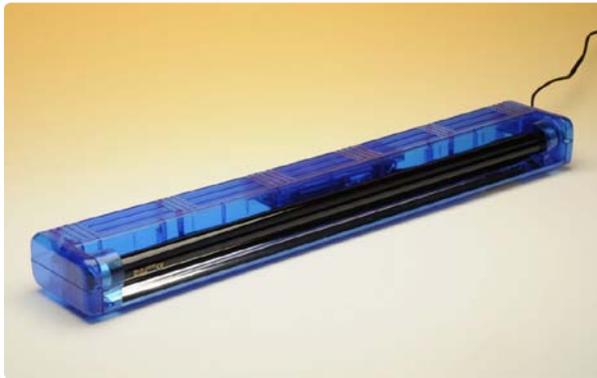
Luminance énergétique efficace (lésion thermique), $L_r = 330 \text{ mW m}^{-2} / 4,4 \text{ sr} = 75 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a		
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} < 10 \mu\text{W m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b		
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 30 \mu\text{W m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d		
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 6 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g		
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_r = 75 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.21. Lumière noire UVA

Les lumières noires UVA sont en général des lampes à décharge basse pression à vapeur de mercure qui émettent des UVA et très peu de lumière visible. On les utilise pour induire la fluorescence dans différentes applications (méthodes de tests non destructives, détection de faux billets, marquage d'objets, dans le domaine du divertissement). La photo ci-dessous illustre une lampe de 20 W et de 55 x 2,5 cm dans une réglette ouverte (aucune plaque plastique/en verre ne la recouvre).



Sélection des limites d'exposition

Cette source est semblable à une lampe fluorescente, toutefois la lumière visible est remplacée par les UVA. Il n'est donc pas nécessaire d'évaluer les risques de lésions rétinienne; les limites **a** et **b** sont applicables. Aucune évaluation de la luminance n'est nécessaire car cette lampe ne produit pas de lumière blanche.

Facteurs géométriques

Calculer l'éclairement énergétique spectrique à une distance de 50 cm de la lampe.

La lampe mesure en moyenne 29 cm.

Par conséquent $\alpha = 0,575$ rad.

La surface de chaque lampe mesure 138 cm².

Par conséquent $\omega = 0,055$ sr

Donc $\omega_B = 0,055$ sr et $\omega_R = 0,055$ sr

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

Éclairement énergétique efficace $E_{\text{eff}} = 30 \mu\text{W m}^{-2}$

Éclairement énergétique UVA, $E_{\text{UVA}} = 176 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),
 $E_B = 3 \text{ mW m}^{-2}$

Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),
 $E_R = 14 \text{ mW m}^{-2}$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),
 $L_B = 3 \text{ mW m}^{-2} / 0,055 \text{ sr} = 55 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),
 $L_R = 14 \text{ mW m}^{-2} / 0,055 \text{ sr} = 255 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a		
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} = 30 \mu\text{W m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b		
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 176 \text{ mW m}^{-2}$ → Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d		
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_B = 55 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g		
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_R = 255 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ → La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.22. Réverbère avec lampe à halogénures métalliques



Réverbère avec lampe à halogénures métalliques de 150 W dans un boîtier à grilles métalliques argentées. Les grilles sont orientées vers le bas et sont espacées de 2,5 cm. La lampe même mesure 2 cm, elle est protégée par un boîtier secondaire de

8 x 5 cm. Le tout est de plus entouré d'un boîtier plastique cylindrique résistant aux intempéries. La source d'éclairage n'est pas homogène — la partie la plus brillante étant l'ampoule interne. Il est possible de voir l'ampoule directement, en regardant entre les grilles à un angle approprié.

Sélection des limites d'exposition

Tout risque surviendra suite à une exposition aux longueurs d'onde des rayonnements visibles et possiblement des ultraviolets. Les lampes à halogénures métalliques émettent une grande quantité de rayonnements ultraviolets: l'exemple ci-dessus comprend un boîtier externe qui réduit éventuellement les rayonnements ultraviolets, et le lampadaire comprend un capot qui réduit les émissions. Toutefois, l'émission importante de rayonnements UVA de cette lampe justifie de prendre certaines mesures de précaution. Appliquer les limites **b**, **d** et **g**.

Facteurs géométriques

La lampe étant conçue pour être utilisée au sommet d'un réverbère, le risque le plus grave serait rencontré (c'est-à-dire si on la regarde directement à travers les grilles) à une distance de 7 m environ. Toutefois, calculer l'éclairement

énergétique spectrique à 100 cm de la lampe, en regardant à travers les grilles.

L'arc mesure en moyenne 1,5 cm.

Par conséquent $\alpha = 0,015$ rad

La surface de la source mesure 2 cm².

Par conséquent $\omega = 0,0002$ sr

Donc $\omega_b = 0,01$ sr et $\omega_r = 0,0002$ sr

Évaluation préliminaire

L'éclairement énergétique efficace photopique calculé est de 327 mW m⁻². Ce qui équivaut à un éclairement de 223 lux.

La luminance de cette source est donc:

$$223/0,0002 = 1\,115\,000 \text{ cd m}^{-2}$$

Il est essentiel d'effectuer une évaluation plus approfondie des risques de lésions rétinienne associées à ces éclairages, ainsi que des risques potentiels associés aux rayonnements UV.

Données radiométriques

Les valeurs d'éclairement énergétique efficace mesurées sont les suivantes:

$$\text{Éclairement énergétique efficace } E_{\text{eff}} = 7 \mu\text{W m}^{-2}$$

$$\text{Éclairement énergétique UVA, } E_{\text{UVA}} = 29 \text{ mW m}^{-2}$$

$$\text{Éclairement énergétique efficace (lumière bleue),}$$

$$E_b = 86 \text{ mW m}^{-2}$$

$$\text{Éclairement énergétique efficace (lésion thermique),}$$

$$E_r = 1\,323 \text{ mW m}^{-2}$$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue),

$$L_b = 86 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ sr} = 8,6 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$

Luminance énergétique efficace (lésion thermique),

$$L_r = 1\,323 \text{ mW m}^{-2} / 0,0002 \text{ sr} = 6,7 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$

Comparaison avec les limites d'exposition

Limite a			
Limite d'exposition: $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{eff}} = 7 \mu\text{W m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite b			
Limite d'exposition: $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$	→	$E_{\text{UVA}} = 29 \text{ mW m}^{-2}$	→ Le temps d'exposition maximale permmissible est > 8 heures
Limite d			
Limite d'exposition: $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_b = 8,6 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée
Limite g			
Limite d'exposition: $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→	$L_r = 6,7 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	→ La limite d'exposition n'est pas dépassée

D.1.23. Résumé des données des exemples

Comparer les données présentées dans les 18 exemples ci-dessus avec les limites d'exposition en divisant la luminance énergétique efficace ou une exposition de 8 heures

à une luminance énergétique par la limite d'exposition pertinente. Ces valeurs sont indiquées ci-après: les valeurs inférieures à 1 % des limites d'exposition ne sont pas détaillées. Les valeurs > 1 sont indiquées en rouge.

Source	Distance	Valeur de risque (taux émission/limite d'exposition)				
		Luminance	UV efficace (limite a)	UVA (limite b)	Danger Lumière bleue (limite d)	Risque lésion rétinienne (limite g)
Lampes fluorescentes (derrière diffuseur)	100 cm	0,15	< 0,01	0,05	0,01	< 0,01
Lampe fluorescente (sans diffuseur)	100 cm	3,7	0,58	0,35	0,19	< 0,01
Quatre lampes fluorescentes (sans diffuseur)	100 cm	2,8	1,0	0,33	0,13	< 0,01
Affichage à tube cathodique	10 cm	< 0,01	0,12	0,02	< 0,01	< 0,1
Affichage ordinateur portable	10 cm	< 0,01	0,07	0,01	< 0,01	< 0,01
Projecteur extérieur à halogénures métalliques	100 cm	15 000	0,1	2,6	2,3	1,08
Projecteur extérieur compact fluorescent	100 cm	6,4	0,01	< 0,01	0,15	< 0,01
Désinsectiseur	100 cm	n/a	0,01	0,10	< 0,01	< 0,1
Spot halogène tungstène	100 cm	33,1	0,03	0,04	0,13	0,01
Lampe de travail	50 cm	3,7	0,05	0,05	< 0,01	< 0,01
Lampe de travail (spectre solaire)	50 cm	600	0,11	0,08	0,14	0,19
Photocopieuse	30 cm	0,96	0,01	0,06	0,06	< 0,01
Vidéoprojecteur bureau	200 cm	2 000	0,03	< 0,01	2,2	0,89
Vidéoprojecteur portable	200 cm	233	< 0,01	< 0,01	0,44	0,10
Tableau blanc interactif	200 cm	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Lampes fluorescentes compactes	100 cm	20	0,04	0,16	0,16	< 0,01
Voyant LED	0,5 cm	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
PDA	2 cm	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Lumière noire UVA	50 cm	n/a	0,03	0,51	< 0,01	< 0,01
Réverbère	100 cm	112	< 0,01	0,08	0,09	0,02

D'après le tableau, dans tous les cas où la luminance de la source est < 10⁴ cd m⁻², aucune des limites d'exposition liées aux risques de lésions rétinienne (**d** et **g**) n'est dépassée. Même lorsque la luminance de la source est supérieure à 10⁴ cd m⁻², la plupart des sources ne présentent en fait aucun danger de lésion rétinienne.

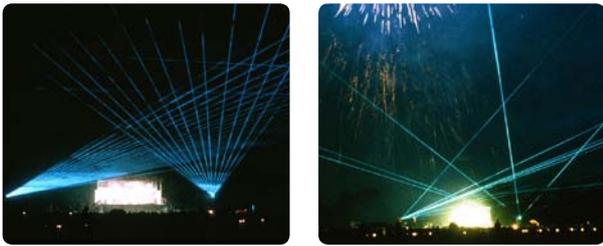
De toutes les sources étudiées, seuls le projecteur à halogénures métalliques et le vidéoprojecteur de bureau sont susceptibles de dépasser les limites d'exposition. Dans la majorité des cas, les limites d'exposition sont calculées afin de protéger la rétine: les calculs ultérieurs (voir chaque exemple) suggèrent que le dépassement des limites d'exposition est improbable, grâce au réflexe naturel de protection des travailleurs et grâce aux prescriptions strictes établies lors de la première évaluation. Cela ne signifie pas que l'on peut ignorer les mesures de précaution à suivre lors de l'utilisation de ces sources, car il est toujours possible qu'une personne ne réagisse pas et ne détourne pas les yeux lorsque cela est nécessaire. Par exemple,

quand une source de lumière est située dans le champ de vision périphérique de la personne, il se peut qu'elle n'ait pas le réflexe de détourner la tête, avec comme résultat une exposition excessive aux rayonnements.

Deux plafonniers ouverts analogues à lampes fluorescentes ont été étudiés. Il est intéressant de voir que, à des niveaux d'éclairage d'environ 100-200 lux, l'un des éclairages atteint la limite efficace des rayonnements des UV, l'autre non. Cela est dû à l'utilisation de lampes fluorescentes de différents fabricants, et indique que des lampes apparemment similaires produisent différents niveaux d'émissions accidentelles.

Les différents niveaux d'émissions sont également démontrés en comparant les deux vidéoprojecteurs examinés dans ce guide. Bien que moins puissant, le vidéoprojecteur de bureau semble (d'après les suppositions relatives à la surface émettrice) plus dangereux que le vidéoprojecteur portable.

D.2. Spectacles laser



Les lasers sont utilisés durant les concerts *live* et en arrière-plan de shows musicaux depuis les années 70. Auparavant, l'exposition du public à des rayonnements dépassant les valeurs limites constituait le problème le plus important. Aujourd'hui, la directive exige d'évaluer uniquement l'exposition des travailleurs. Cet exemple tient compte de l'installation et de la performance à un spectacle laser unique. Toutefois, les principes doivent s'appliquer à tout spectacle laser.

D.2.1. Risques et personnes à risque

Le faisceau laser présente ici l'unique risque pertinent. D'autres risques peuvent présenter une plus grande incidence de blessure ou même de décès.

Les lasers de classe 4 sont le plus souvent utilisés lors de spectacles laser. Par définition, le flux énergétique dépassera 500 mW. Si on suppose une seule exposition oculaire accidentelle au faisceau laser, la valeur limite d'exposition (VLE) peut être déterminée à partir du tableau 2.2 de l'annexe II de la directive.

La valeur limite d'exposition s'élève à $18 t^{0,75} \text{ J m}^{-2}$ en ce qui concerne les longueurs d'onde entre 400 et 700 nm. Si $t = 0,25 \text{ s}$, la valeur limite est de $6,36 \text{ J m}^{-2}$. Le faisceau laser étant susceptible d'émettre en continu, il est utile de convertir l'exposition au flux énergétique en éclairage énergétique en le divisant par la durée d'exposition (0,25 s). Cela donne une valeur limite d'exposition, en termes d'éclairage énergétique, de $25,4 \text{ W m}^{-2}$.

L'ouverture limite d'exposition oculaire relative aux faisceaux laser s'élève à 7 mm. Par conséquent, il est possible de déterminer la puissance maximale permise dans cette ouverture de 7 mm afin de prévenir tout dépassement de la valeur limite d'exposition. Le calcul est effectué en multipliant la valeur limite d'exposition par la surface de l'ouverture de 7 mm, en supposant que l'ouverture est circulaire et donc d'une surface de $3,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. En multipliant $25,4 \text{ W m}^{-2}$ par $3,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, on obtient environ 0,001 W, ou 1 mW.



La valeur limite d'exposition sera dépassée par un facteur minimum de 500, c'est-à-dire le nombre de mW au-delà de 1 mW, si le diamètre du faisceau laser est égal ou inférieur à 7 mm.

Cette évaluation démontre que le faisceau ne doit en aucun cas être dirigé vers les yeux des travailleurs, sauf si le faisceau diverge suffisamment afin de réduire l'éclairage énergétique à un niveau inférieur à $25,4 \text{ W m}^{-2}$.

La liste suivante indique les travailleurs à risque durant les différents stades d'utilisation du laser. Elle ne tient compte que des périodes durant lesquelles le laser émet des rayonnements.

Alignement du faisceau

- Technicien d'installation laser
- Opérateur du laser
- Autres techniciens d'installation
- Personnel de sécurité
- Personnel de service

Spectacle laser

- Opérateur du laser
- Éclairagistes et chefs opérateurs du son
- Artistes
- Personnel de sécurité
- Personnel de service
- Marchands

Les spectacles laser sont rarement réalisés avec des faisceaux statiques. Les balayages sont effectués en bougeant le faisceau, en général à l'aide de miroirs orthogonaux sur galvanomètre pilotés par un logiciel. Toutefois, les mouvements de balayage sont souvent répétés, par conséquent il est possible que l'œil de la personne reçoive une salve d'impulsions laser lorsque le faisceau passe sur le visage.

Lors de l'utilisation d'un laser à impulsions, il est indispensable d'évaluer si la valeur limite d'exposition sera dépassée lors de toute exposition à une seule impulsion de rayonnements laser aux endroits accessibles ainsi que dans le cas d'une suite d'impulsions.

D.2.2. Évaluation et classification des risques

L'évaluation de l'exposition potentielle par rapport à la valeur limite d'exposition met en évidence que la valeur

limite peut être dépassée. S'agissant d'un laser 500 mW, il est également possible de déterminer le temps nécessaire pour assurer l'efficacité d'une mesure de prévention. Le document CEI TR 60825-3 suggère de considérer le délai entre le moment où apparaît un problème et la mise en œuvre efficace d'une mesure de prévention.

Si l'on suppose que le faisceau émet 500 mW, l'éclairage énergétique équivaut alors à $0,5 \text{ W}/3,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, ou approximativement $13\,000 \text{ W m}^{-2}$. Étant donné que les valeurs limites d'exposition sont exprimées en terme d'exposition énergétique (J m^{-2}) pour des expositions durant moins de 10 s, l'éclairage énergétique peut être converti en exposition énergétique en le multipliant par la durée d'exposition: $13\,000 \times t \text{ J m}^{-2}$.

La valeur «t» est déterminée pour chaque valeur limite d'exposition en tant que facteur de temps jusqu'à ce que «t» se situe dans la gamme de validité de la valeur limite d'exposition. Ce qui donne comme résultat $3,8 \times 10^{-7} \text{ s}$, lorsque la valeur limite d'exposition est de $5 \times 10^{-3} \text{ J m}^{-2}$ pour une période de temps de 10^{-9} à $1,8 \times 10^{-5} \text{ s}$.



En ce qui concerne les lasers de 500 mW CW, toute mesure mise en œuvre afin d'éviter tout dépassement de la valeur limite d'exposition pour l'œil doit prendre effet avant $0,38 \mu\text{s}$.

Ce qui suggère l'importance d'éviter impérativement toute exposition au faisceau du laser.

D.2.3. Élaboration et mise en place des mesures préventives

Comme le faisceau laser peut provoquer des blessures graves, il est important de minimiser les risques d'exposition de l'œil. Toutefois, le faisceau laser doit être visible dans l'air ou sous forme de reflet d'un écran afin de produire ses effets spectaculaires attendus. Par conséquent, il est nécessaire de gérer les risques en s'assurant que les travailleurs ne se trouvent pas dans le champ des faisceaux. Des mesures de gestion des risques sont suggérées dans le tableau ci-après.

Les techniciens et leurs assistants doivent être suffisamment formés.

Le minimum de personnel doit être présent durant l'alignement.

Tous les faisceaux doivent être dirigés vers des endroits inoccupés.

Les lasers et équipements auxiliaires, y compris les miroirs réflecteurs, doivent être correctement fixés et attachés pour éviter tout mouvement inattendu pendant toute la durée du spectacle.

Les trajectoires des faisceaux doivent être bloquées par des moyens physiques afin de les empêcher d'atteindre les endroits occupés. Utiliser des moyens logiciels uniquement si conformes aux normes strictes de sécurité pertinentes.

Les opérateurs doivent pouvoir surveiller toutes les trajectoires des faisceaux et interrompre les émissions si nécessaire.

À l'extérieur, tenir compte de la sécurité de la circulation aérienne. Se conformer aux normes nationales applicables.

D.2.4. Surveillance et vérification

Le personnel doit surveiller continuellement les trajectoires des lasers durant l'alignement et le spectacle, et doit être prêt à agir à point nommé si nécessaire. Si le laser est installé de manière permanente, effectuer une nouvelle évaluation périodiquement ainsi que des vérifications avant chaque spectacle.

D.2.5. Conclusion

Il n'est pas nécessaire d'effectuer de longues et complexes évaluations relatives aux valeurs limites d'exposition afin d'assurer que les travailleurs ne seront pas exposés aux faisceaux laser avant les représentations. La formation des opérateurs et des mesures préventives simples suffisent généralement à éviter que les valeurs limites d'exposition ne soient dépassées pour le bien-être des travailleurs.

D.3. Équipements médicaux émetteurs de rayonnements optiques

Le personnel médical utilise de nombreuses sources de rayonnements optiques artificiels pour un grand nombre de tâches. Certaines sources sont courantes dans d'autres environnements et sont déjà abordées dans d'autres sections du guide: éclairage général, écran d'affichage (voir photo), voyants, photographie, analyse en laboratoire, et phares de véhicules. Ces sources, sauf en cas de modification importante, ne devraient pas présenter plus de risque que dans tout autre environnement.



Utilisation d'écrans d'affichage en radiographie

Toutefois, il existe une gamme importante d'applications à fins médicales, dont:

Éclairage de travail	Appareils thérapeutiques
Lampes de salles d'opération	Appareils de photothérapie UV
Lampes de salles d'accouchement	Appareils de photothérapie à la lumière bleue
Spots	Appareils de thérapie photodynamique
Négatoscopes	Lasers de physiothérapie
Lampes diagnostic	Lasers chirurgicaux
Diaphanoscopes pour l'examen des fœtus	Lasers ophtalmiques
Biomicroscopes et autres instruments ophtalmiques	Appareils à lumière pulsée intense
Instruments de diagnostic laser tels les scanners pour l'examen de la rétine	Appareils d'examen spécialisés
Lampes Woods	Simulateurs solaires

D.3.1. Éclairage de travail

Les lampes des salles d'opération constituent les éclairages les plus puissants. Le tableau D.3.1 présente l'évaluation d'une variété de ces lampes, dont l'une d'entre elles présente un risque potentiel de lésion associé à la lumière bleue lorsque regardée directement.



Exemples de lampes de salles d'opération

Tableau D.3.1. Évaluation des lampes de salles d'opération en supposant une fixation du regard directe *

Source	Risque UV actiniques	Risque UVA	Risque Lumière bleue	Autres risques associés aux rayonnements optiques
Hanalux 3210	Aucun	Aucun	Dépassement possible en ~ 30 minutes si regardé directement	Aucun
Hanalux Oslo	Aucun	Inférieur à la limite d'exposition pour une exposition de 8 heures	Dépassement possible en ~ 30 minutes si regardé directement	Aucun
Hanalux 3004	Aucun	Aucun	< 20 % de VLE	Aucun
Martin ML702HX	Aucun	Aucun	< 20 % de VLE	Aucun
Martin ML502HX	Aucun	Aucun	< 20 % de VLE	Aucun
Martin ML1001	Aucun	Aucun	< 20 % de VLE	Aucun
* Données fournies par le Medical Physics Department, Guy's & Thomas' NHS Foundation Trust, Londres.				

Les lampes éclairent au-dessus de la personne, il est donc peu probable que les travailleurs les regardent directement de près. De plus, les lampes sont brillantes, il serait

donc inconfortable de les regarder directement pendant de longues périodes de temps. Les expositions seront donc en réalité inférieures aux valeurs du tableau D.3.1 et ne poseront pas de véritables dangers.

Il existe d'autres lampes de travail à usage médical, telles les lampes d'examen. Ces catégories de lampes présentent les mêmes problèmes d'exposition potentielle. Ces lampes sont orientées afin de fournir un éclairage local, il est donc peu probable que l'utilisateur fixe le regard sur ces appareils pendant de longues périodes de temps. Ces lampes ont une puissance inférieure à celles des lampes chirurgicales, elles ne présentent donc généralement pas de danger.



Exemples de lampes utilisées dans les salles d'accouchement

Les loupes lumineuses sont couramment utilisées dans le milieu médical; elles fournissent une source d'éclairage localisé et sont munies d'une grosse loupe comme illustré ci-dessous.



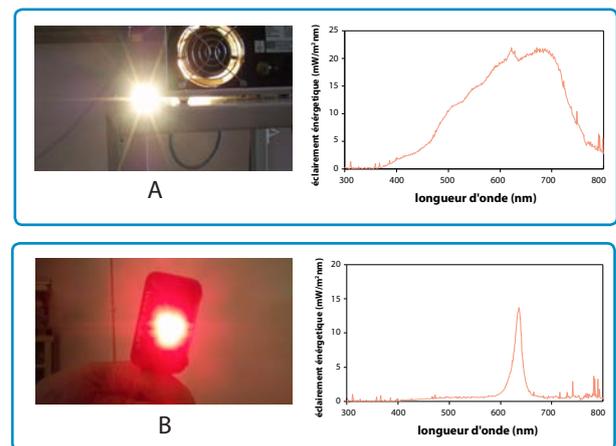
Exemple d'une loupe lumineuse (photo d'un illuminateur Luxo Wave Plus)

Une étude effectuée par le Medical Physics Department du Guy's & Thomas' NHS Foundation Trust à Londres a déterminé que l'illuminateur Luxo Wave Plus émettait dans les bandes visibles et UV du spectre. Toutefois, l'exposition continue à un illuminateur proche ne produit pas de dépassement de la valeur limite d'exposition relative aux UV actiniques. Bien qu'il émette une grande quantité de lumière bleue, elle ne dépasse pas 1 % de la valeur limite d'exposition pertinente. Aucun véritable risque thermique ou associé aux UVA n'a été mis en évidence. Il est probable que d'autres instruments similaires présenteront le même niveau de risque insignifiant.

Les négatoscopes offrent un éclairage lumineux diffus de faible puissance. Les études du Medical Physics Department de Guy's & Thomas' NHS Foundation Trust suggèrent que le fait de regarder directement et de près l'appareil, ce qui est probable étant donné la fonction de ce type d'appareil, résultera en une exposition à la lumière bleue inférieure à 5 % de la valeur limite d'exposition. Les mécanismes thermiques, à UV et UVA, ne présentaient aucun risque important.

D.3.2. Lampes de diagnostic

Les diaphanoscopes sont couramment utilisés dans les services de médecine fœtale et permettent de visualiser les structures internes afin de diagnostiquer ou d'identifier les vaisseaux sanguins. Par conséquent, ils éclairent des petits volumes de façon suffisamment intense pour traverser les tissus et être visibles au point de sortie.



Photos de diaphanoscopes de médecine fœtale et spectres de puissance mesurés. (A) Neonate 100. (B) Wee Sight™

Le spectre d'émission du diaphanoscope Neonate 100 couvre la gamme visible entière ainsi qu'une partie des gammes UVA et IRA. Des études démontrent que les émissions UV ne constituent pas de danger (tableau D.3.2) même lors d'une exposition à proximité de l'appareil. Toutefois, ces instruments émettent une grande quantité de lumière bleue, ce qui constitue un risque lors d'expositions de plus de 10 minutes. Comme le montre la photo ci-dessus, la source est extrêmement puissante, par conséquent le réflexe de protection se déclenchera habituellement et limitera donc les expositions individuelles à 0,25 seconde. Elles s'accumuleraient durant la journée de travail, mais cet appareil est relativement peu utilisé, par conséquent même les suppositions les plus pessimistes démontrent que les expositions cumulatives possibles sont inférieures à 5 % de la valeur limite d'exposition. L'instrument émettant fortement dans

la gamme visible et de l'infrarouge proche, il est impératif d'évaluer les risques de lésions thermiques de la rétine. Toutefois, le réflexe de protection limitera les risques et l'exposition ne dépassera pas 2 % de la valeur limite d'exposition

même si le travailleur fixe son regard longtemps sur la source de lumière, ce qui serait très inconfortable. L'instrument Wee Sight™ émet sur une gamme relativement étroite, similaire aux LED, et ne présente donc aucun risque pour l'œil.

Tableau D.3.2. Évaluation des diaphanosopes de médecine fœtale*

Source	Risque UV actiniques	Risque UVA	Risque lumière bleue	Risques thermiques
Neonate 100	Aucun	Aucun	< 5 % de VLE	~2 % de VLE
Wee Sight™	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun

* Mesures fournies par le Radiation Protection Department, Royal Berkshire NHS Foundation Trust, Reading, Royaume-Uni.

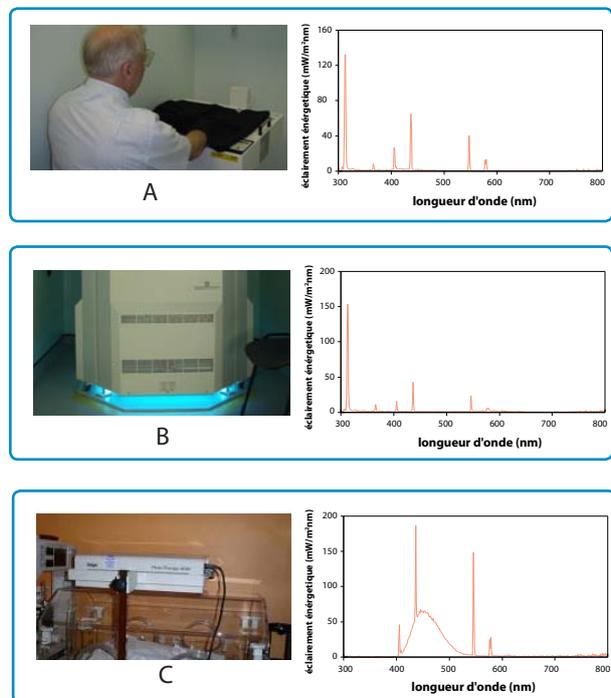
Les biomicroscopes et autres instruments ophtalmiques comprennent des lampes à fente pour les examens ophtalmiques, ils ne présentent donc que très peu de danger. De plus, ils sont dirigés vers une cible précise; par conséquent, les expositions professionnelles accidentelles importantes sont peu probables. De même, les instruments ophtalmiques de diagnostic récents, tels les scanners pour les examens de la rétine, comprennent des lasers, mais ont été évalués pour les expositions intentionnelles et sont en général classés dans la catégorie 1 des instruments. Le risque d'exposition dangereuse du personnel est donc minime.

Les lampes Woods sont parfois utilisées à des fins de diagnostic; ce sont des lampes à mercure dont le filtre en verre Woods élimine les émissions de longueurs d'onde courtes UV et visibles. Elles présentent donc un risque d'exposition aux UVA et, selon l'efficacité du filtre, aux UV actiniques. Les études effectuées par le Medical Physics Department de Guy's & Thomas' NHS Foundation Trust démontrent qu'une exposition directe à l'éclairage d'une lampe Woods pour plus de 50 minutes risque de dépasser la valeur limite d'exposition relative aux UVA. La même étude indique qu'il faut plus de 7,5 heures pour dépasser la valeur limite d'exposition aux UV actiniques, tandis que les autres risques de rayonnements optiques sont insignifiants. Les lampes sont utilisées lors d'exams; la formation des techniciens et les protections individuelles de l'œil devraient limiter l'exposition à la source ainsi que l'exposition aux UVA diffus. Étant donné que la valeur limite d'exposition relative aux UV actiniques ne sera dépassée qu'après une exposition prolongée aux émissions directes, il est peu probable que les UV actiniques diffus présentent un réel danger.

D.3.3. Instruments thérapeutiques

Une gamme d'appareils existe pour les traitements photothérapeutiques, en particulier des instruments de

photothérapie à ultraviolets pour le traitement des affections cutanées, ou à lumière bleue pour le traitement de l'hyperbilirubinémie chez les nouveau-nés, dont souffrent 60 % ou plus d'entre eux.



Images d'appareils de photothérapie avec spectres de débit mesuré. (A) Waldmann UV 7001 UVB. (B) Waldmann UV 181 BL. (C) Dräger PhotoTherapy 4000.

Les spectres ci-dessus démontrent que les éclairages de photothérapie aux ultraviolets (exemples A et B) émettent en général fortement dans les bandes UV mais aussi parfois dans la bande visible, particulièrement dans la partie bleue. Par ailleurs, l'évaluation présentée dans le tableau D.3.3 suggère que les risques principaux de ces instruments proviennent des UV actiniques ou UVA. L'exemple C montre le spectre d'un instrument de photothérapie à lumière bleue qui, bien sûr, émet principalement dans la région bleue du spectre visible mais peu ou pas dans les régions des ultraviolets ou de l'infrarouge proche.

Tableau D.3.3. Évaluation des appareils de photothérapie

Source	Risque UV actiniques	Risque UVA	Risque lumière bleue	Autres risques liés aux rayonnements optiques
Waldmann UV 7001 UVB*	Peut être dépassé en ~ 5 h	Inférieur à la limite d'exposition	Inférieur à la limite d'exposition	Aucun
Waldmann TL01 UV5000†	Peut être dépassé en ~ 7,5 h	Inférieur à la limite d'exposition	Aucun	Aucun
Waldmann UV6 UV5001BL†	Peut être dépassé en ~ 4 h	Inférieur à la limite d'exposition	Aucun	Aucun
Waldmann UV 181 BL*	Inférieur à la limite d'exposition	Inférieur à la limite d'exposition	Inférieur à la limite d'exposition	Aucun
Waldmann UV 7001 UVA†	Aucun	Peut être dépassé en ~ 5 h	Inférieur à la limite d'exposition	Aucun
Sellamed UVA1 24000†	Aucun	Peut être dépassé en ~ 45 min	Inférieur à la limite d'exposition	Aucun
Draeger 4000*†	Aucun	Inférieur à la limite d'exposition	Inférieur à la limite d'exposition	Aucun

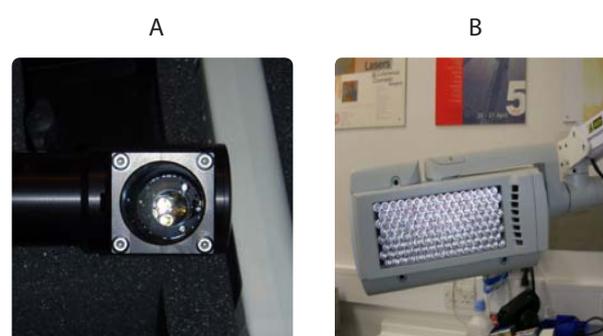
* Mesures effectuées avec la collaboration du Radiation Protection Department, Royal Berkshire NHS Foundation Trust, Reading, Royaume-Uni.
† Évaluation obtenue du Medical Physics Department, Guy's & Thomas' NHS Foundation Trust, Londres, Royaume-Uni.

Les cabines de photothérapie les plus courantes bloquent l'accès aux émissions directes lors du fonctionnement. Toutefois, il peut y avoir un risque de fuites (voir exemple A ci-dessus): un problème pour le personnel à considérer. En effet, le haut de la cabine reste souvent ouvert pour faciliter la circulation de l'air et minimiser le sentiment de claustrophobie du patient, ce qui peut provoquer une diffusion importante des UV par le haut. En général, le risque pour le personnel est relativement minime, car le personnel n'est pas susceptible de rester proche de la cabine durant toute la durée de l'utilisation. Toutefois, il existe des risques d'effets nocifs à long terme relatifs à l'exposition cumulative aux UV, mais il est possible de les minimiser grâce à des mesures de prévention techniques simples: salles de traitement dédiées, rideaux autour de la cabine, commande à distance des stations de surveillance. En ce qui concerne l'exemple A ci-dessus, l'utilisation d'un rideau autour de la cabine a augmenté le temps nécessaire pour atteindre la valeur limite d'exposition relative aux UV actiniques de 5 à presque 13 heures. Certains appareils de photothérapie, tels les instruments de traitement des pieds et mains (voir exemple B) nécessitent certaines mesures de prévention procédurales afin de minimiser l'exposition du personnel. Dans ce cas, le personnel place des serviettes noires sur l'appareil durant l'utilisation afin de réduire les UV parasites. Le contrôle peut être renforcé en plaçant simplement l'appareil dans une cabine entourée de rideaux. Le personnel hospitalier devra parfois s'approcher du matériel pour effectuer des vérifications de qualité. Pour des raisons

de sécurité, le personnel devra parfois porter un masque, ainsi que des gants et vêtements appropriés, de protection contre les UV. Les mesures préventives doivent être clairement documentées lorsque fréquemment utilisées.

Les appareils de photothérapie à la lumière bleue sont placés au-dessus des lits des nouveau-nés, en général à une hauteur approximative de 0,3 m. Cela évite le plus souvent au personnel de regarder directement la source de lumière; de plus le personnel examine les nouveau-nés environ 10 minutes par heure, les expositions sont donc limitées. Même lors de journées de 12 heures, l'exposition reste inférieure à 1 % de la valeur limite d'exposition.

Les thérapies photodynamiques consistent à utiliser des rayonnements optiques afin de produire des réactions photochimiques après l'administration d'un



Photos d'instruments de thérapie photodynamique. (A) UV-X. (B) Aktillite CL128.

photosensibilisant chimique. Les longueurs d'onde des ultraviolets constituent de très bons facteurs d'excitation des photosensibilisants; toutefois, ils sont rarement utilisés car ils ne pénètrent pas profondément les tissus.

L'exposition ne devrait pas influencer sur le personnel, qui n'est pas exposé au photosensibilisant. Toutefois, il est nécessaire de mettre en pratique certaines mesures préventives pour éviter tout risque.

Tableau D.3.4. Évaluation des instruments de thérapie photodynamique

Source	Risque UV actiniques	Risque UVA	Risque lumière bleue	Risques thermiques
UV-X	Inférieur à la limite d'exposition	Inférieur à la limite d'exposition	Aucun	Aucun
Aktelite CL128 lamp*	Aucun	Aucun	< 3 % de VLE	Aucun

* Évaluation fournie par le Medical Physics Department, Guy's & Thomas' NHS Foundation Trust, Londres, Royaume-Uni.

Les évaluations du tableau D.3.4 démontrent bien que les appareils de thérapie photodynamique présentent peu de risque lorsque les agents photosensibilisants ne sont pas présents.

Les lasers de classe 3B sont parfois utilisés en physiothérapie afin de transmettre l'énergie directement aux lésions cutanées. Ces lasers présentent un risque pour les yeux (risque thermique rétinien) mais sont souvent très divergents et par conséquent dangereux uniquement sur des distances relativement courtes. Il est possible en général de gérer ce risque à l'aide de mesures préventives (cabines à rideaux, formation du personnel et panneaux d'avertissement) et en assurant le port de protecteurs des yeux contre les rayons lasers.

Les lasers chirurgicaux sont couramment utilisés dans un grand nombre de procédures. Ce sont en général des appareils de classe 4 présentant des risques importants pour les yeux et la peau. Les risques sont normalement gérés grâce à des mesures de prévention procédurales et le port de protections individuelles. Dans certains cas, le faisceau est transmis par une fibre insérée dans le corps par l'intermédiaire d'un endoscope. Le risque est donc grandement réduit si la fibre ne se brise pas. Les lasers de classe 3 ou 4 sont couramment utilisés en ophtalmologie. Comme pour tous les autres lasers à usage médical, les risques pour les yeux et à la peau sont minimisés, si nécessaire, par la mise en œuvre de mesures de prévention procédurales et le port de protecteurs individuels.

Afin de minimiser les réflexions possibles dans la fibre de visualisation de l'endoscope, il est nécessaire d'installer des filtres appropriés et de regarder l'endoscope par l'intermédiaire de la caméra.

Les sources de lumière pulsée intense sont couramment utilisées en dermatologie. Ces appareils sont généralement constitués de lampes éclair au xénon et de filtres permettant d'éliminer les courtes longueurs d'onde de la bande des ultraviolets du spectre. Par conséquent, ces appareils peuvent présenter des risques thermiques pour les yeux et la peau étant donné leur puissance maximale. Ce risque peut être géré grâce à des mesures préventives empêchant l'exposition du personnel au débit direct et au port de protecteur des yeux individuel. Le risque associé à lumière bleue dépendra de la qualité des filtres.

D.3.4. Appareils d'examen spécialisés



Photo d'un simulateur solaire

Il existe une variété d'appareils spécialisés utilisés dans certains domaines médicaux pour le diagnostic et la recherche. Il sera probablement nécessaire d'évaluer chaque appareil au cas par cas. L'exemple du tableau D.3.5 ci-après illustre un appareil à émissions large bande, un simulateur solaire; il sera nécessaire d'effectuer l'évaluation des risques potentiels associés aux rayonnements optiques de cet appareil.

Tableau D.3.5. Évaluation d'un simulateur solaire*

Source	Risque UV actiniques	Risque UVA	Risque Lumière bleue	Autres risques associés aux rayonnements optiques
Simulateur solaire Oriel 81292: exposition directe	Peut être dépassé en ~ 6 min	Peut être dépassé en ~ 3 min	Inférieur à la limite d'exposition	Aucun
Simulateur solaire Oriel 81292: réfléchi du corps	Inférieur à la limite d'exposition	Inférieur à la limite d'exposition	Inférieur à la limite d'exposition	Aucun

* Évaluation fournie par le Medical Physics Department, Guy's & Thomas' NHS Foundation Trust, Londres, Royaume-Uni.

En général, les éclairages de travail et de diagnostic utilisés dans le domaine médical ne présentent pas de risques importants lors d'une utilisation normale.

Les appareils thérapeutiques peuvent présenter des risques dans certains cas. Certains présentent un risque d'exposition aux ultraviolets et à la lumière bleue lorsque les expositions s'accumulent le long de la journée de travail et par conséquent peuvent avoir des effets nocifs sur la santé à long terme. Par conséquent, il est important de déterminer les situations possibles d'exposition et de les incorporer dans les procédures de travail afin d'évaluer les expositions totales. Lorsque des risques importants ont été identifiés, il est impératif de les prévenir en restreignant l'accès aux émissions le plus possible. Il est impératif d'élaborer des mesures de prévention procédurales strictes par écrit et de les mettre en pratique.

D.4. Conduite professionnelle

Les travailleurs sont parfois exposés aux rayonnements optiques des véhicules:

- pendant la conduite,
- lorsqu'ils travaillent le long des routes (par exemple contractuels, travailleurs de la route),
- durant le service et les réparations de véhicules au garage.



Comme nous allons le démontrer, les deux premiers exemples présentent des risques d'exposition minimes; il n'est donc pas nécessaire de compromettre la visibilité et la sécurité routière pour réduire l'exposition. L'exposition potentielle aux rayonnements optiques supérieure aux limites d'exposition durant le service et la réparation des véhicules peut être contrôlée grâce à la mise en œuvre de pratiques professionnelles appropriées et en appliquant les réglementations locales.

Quatre véhicules ont été évalués afin de déterminer le niveau d'exposition aux rayonnements optiques:



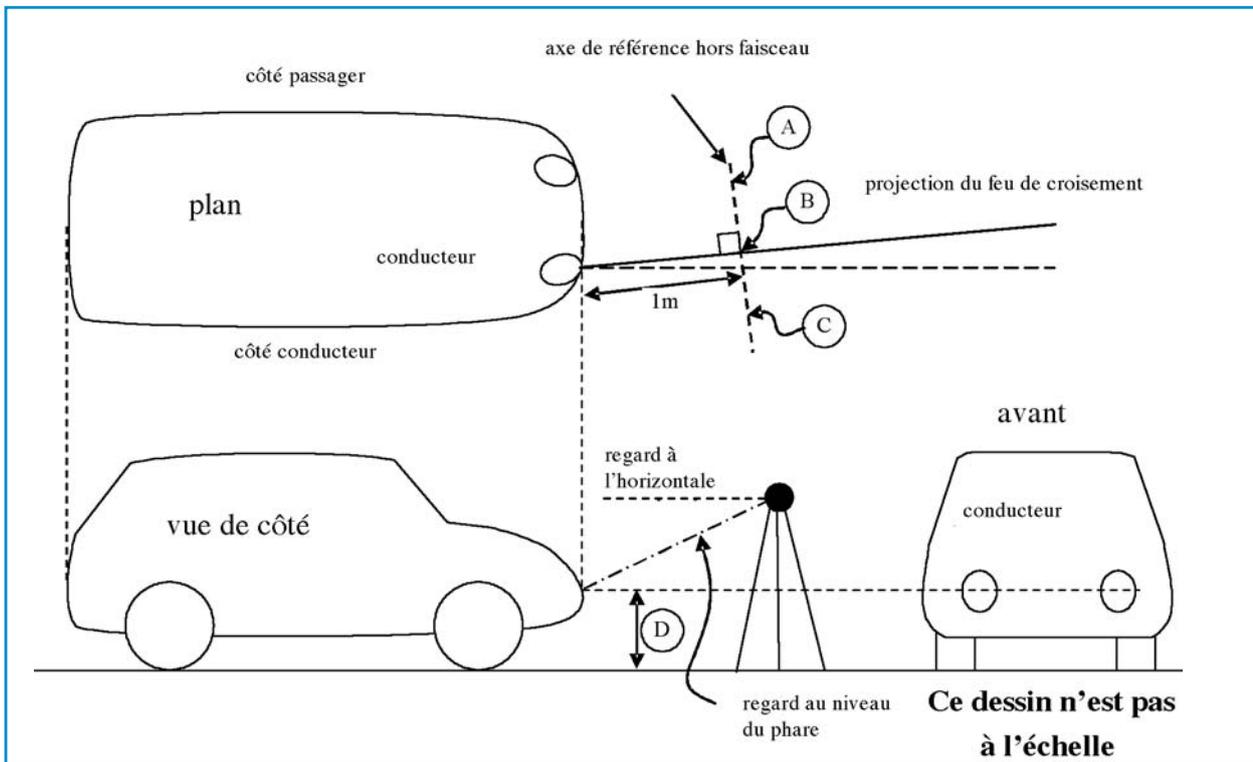
- Mazda RX8 avec phares XE haute performance,
- voiture familiale de taille moyenne Mercedes A180,
- Fiat 500 compacte,
- minibus LDV.

Les conditions de l'évaluation ont été sélectionnées afin de représenter les expositions professionnelles prévisibles les plus extrêmes: voir tableau D.4.6 et schéma D.4.1.

Tableau D.4.6. Conditions d'évaluation de l'éclairage véhiculaire

	Position par rapport au phare	Distance	Exposition possible de toute personne
Phare: feu de croisement et feu de route	Niveau phare: en regardant directement dans le faisceau	0,5 m, 1 m, 2 m et 3 m	Service et réparations: voiture sur pont élévateur Conduite
	Niveau œil	Regardant le phare Regard horizontal	1 m
Feu de, freinage, de recul, antibrouillard, clignotant	Niveau feu: regardant directement dans le faisceau	0,5 m	Conduite Service et réparation Travailleurs de la route, contractuels

Schéma D.4.1. Diagramme schématique des mesurages des feux et phares d'un véhicule



Les mesures de l'éclairement énergétique spectrique et les spécifications des phares et feux des véhicules sont utilisées afin d'évaluer les risques associés aux rayonnements optiques et de les comparer aux valeurs limites d'exposition (VLE).

Tableau D.4.7. Résumé des risques associés aux rayonnements optiques émis par les feux et phares des véhicules

Risque	RX8	A180	F500	LDV
UV actiniques	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun
UVA	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun
Lumière bleue	Peut être dépassée: voir tableau D.4.8 pour détails	Peut être dépassée: voir tableaux D.4.8 et D.4.9 pour détails	Peut être dépassée: voir tableau D.4.8 pour détails	Peut être dépassée: voir tableau D.4.8 pour détails
Brûlure rétinienne	< 30 % de VLE	< 10 % de VLE	< 3 % de VLE	< 2 % de VLE

Tableau D.4.8. Risque «lumière bleue» des phares

Temps jusqu'au dépassement de la VLE Lumière bleue	RX8	A180	F500	LDV
Niveau phare: regardant directement dans le faisceau	~ 3 min	~ 5 min	~ 30 min	~ 1 h
Niveau œil: regardant le faisceau	~ 2 h	~ 8 h	> 8 h	> 8 h
Niveau œil: regard horizontal	> 8 h	> 8 h	> 8 h	> 8 h

Tableau D.4.9. Niveaux de risques associés à la lumière bleue des phares et feux des Mercedes A180

Feux véhiculaires	Délai de dépassement des limites d'exposition à la lumière bleue		Risque de surexposition
Phare, niveau phare à 1 m, en regardant directement dans le faisceau — position B sur le schéma D.4.1	Feu de croisement	~ 45 min	Improbable, le réflexe de protection contre une lumière trop forte empêchera l'exposition au faisceau. Adopter les procédures de travail nécessaires afin de minimiser toute exposition inutile.
	Feu de route	~ 15 min	
Phare, niveau phare à 1 m, en regardant directement dans le faisceau — positions A et C = 0,5 m sur le schéma D.4.1	Feu de croisement	> 8 h	Aucun
	Feu de route	> 8 h	
Phare, niveau œil à 1 m, en regardant le phare	Feu de croisement	> 8 h	Aucun
	Feu de route	> 8 h	
Phare, niveau œil à 1 m, en regardant à l'horizontale	Feu de croisement	> 8 h	Aucun
	Feu de route	> 8 h	
Feu antibrouillard	> 8 h		Aucun
Feu de freinage	> 8 h		Aucun
Clignotant	> 8 h		Aucun
Feu de recul	> 8 h		Aucun

Regarder directement le faisceau d'un feu constitue un danger d'exposition à la lumière bleue ainsi qu'un risque de surexposition. Toutefois, la surexposition ne présente pas un risque probable, car:

- le réflexe de protection contre une lumière trop brillante empêchera de regarder le faisceau directement;
- le niveau de risque diminue rapidement en s'éloignant du centre du faisceau;
- le niveau de risque diminue grandement au niveau du regard.

Les feux de véhicules ne présentent pas en général de risque de surexposition aux rayonnements optiques pour les utilisateurs routiers, y compris les chauffeurs, travailleurs du secteur de la construction routière et contractuels. Toutefois, certaines actions exigent de regarder directement les feux au niveau du phare et peuvent donc constituer un léger risque d'exposition à la lumière bleue.

Important

Les feux des véhicules ne présentent pas de danger d'exposition aux UV lorsque les filtres ou le verre avant du feu sont intacts. Toutefois, il y aura risque d'exposition aux UV lors de travaux sur les feux de la voiture si le verre avant est enlevé ou endommagé. Adopter les procédures de travail nécessaires pour éviter toute exposition à l'éclairage des feux lorsque le verre ou les filtres sont endommagés.



La modification des feux et des optiques des feux peut faire varier les niveaux de risque.

Bien que le risque de surexposition dû à la fixation du regard directement sur le faisceau des phares soit minime, adopter toute procédure de travail nécessaire afin de minimiser toute exposition inutile.

D.5. Équipement militaire

Certaines sources de rayonnements optiques artificiels sont fréquemment utilisées par le personnel militaire. Durant les combats, les commandants doivent prendre des décisions basées sur le coût/bénéfice des actions, malgré les risques minimes de blessures si les limites d'exposition sont dépassées, par rapport aux risques de blessures graves ou décès associés à d'autres risques. Par conséquent, cette section traite uniquement des mesures à suivre durant les activités hors combat, y compris durant la formation.

L'utilisation militaire de sources de rayonnements optiques comprend:

les projecteurs orientables
les feux de balisage
le système de communication à infrarouge
les illuminateurs de cible infrarouges
les désignateurs de cibles lasers
les systèmes de simulation d'armes
les systèmes de contre-mesure à infrarouge
les fusées de signalisation magnésium
les rayonnements optiques d'explosions



Lors de l'évaluation des risques, conformément à l'article 4 de la directive, il est nécessaire de tenir compte du personnel militaire ainsi que de tout autre personnel. Il n'est pas toujours possible de garantir que les niveaux d'exposition potentielle sont inférieurs aux valeurs limites d'exposition. Par conséquent, on peut utiliser la méthode d'évaluation probabiliste des risques, afin de quantifier les facteurs de «probabilité». Toutefois, un incident de probabilité 10^{-8} est considéré comme acceptable, même pour un incident nuisible qui pourrait avoir des conséquences catastrophiques dans la réalité.

Un incident d'une probabilité inférieure à 10^{-8} n'est pas considéré comme «susceptible de se passer».

Les évaluations probabilistes des risques sont complexes et nécessitent la consultation d'une expertise. Toutefois, elles permettent d'évaluer l'utilisation de rayonnements optiques artificiels dans des situations qui ne sont pas considérées comme acceptables si évaluées moins rigoureusement.

Ces équipements nécessitent un environnement ouvert et sont donc habituellement utilisés à l'extérieur. Par conséquent, la mesure préventive principale consistant à confiner les rayonnements optiques ne s'applique pas dans ce cas. La formation du personnel est la meilleure forme de prévention: le personnel militaire est formé de façon à suivre ordres et instructions.

D.6. Appareils surélevés de chauffage à rayonnement au gaz

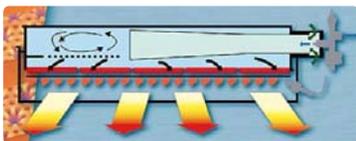
Évaluations fournies par l'Association européenne ELVHIS.



L'exposition aux rayonnements optiques émis par les appareils de chauffage à rayonnement au gaz peut survenir dans différents espaces chauffés:

- locaux industriels,
- établissements publics,
- bâtiments logistiques,
- casernes de pompiers,
- halls d'exposition,
- salles de sports,
- terrasses de restaurants et bars, etc.

Conformément aux notices techniques des fabricants, ces appareils sont installés à une hauteur minimale au-dessus des travailleurs afin de ne pas être situés dans leur ligne directe de vision.



Chauffage radiant à gaz au plafond (type lumineux)

La température de surface des appareils de chauffage à rayonnement lumineux au gaz est comprise entre 700 °C et 1 000 °C, ce qui correspond à une longueur d'onde λ_{\max} entre 2 275 nm et 2 980 nm, selon la loi de Wien:

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{4,965 \cdot kT} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T} \text{ [m} \cdot \text{°K]}$$

Suivant les recommandations de l'AICVF, cela se traduit par un éclairage énergétique total:

$$E_{\text{IR}} \text{ [W m}^{-2}\text{]} = 0,71 \times \alpha_k \times f_p \times \eta_r \times P_u / d^2$$

où:

α_k = facteur humain d'absorption

f_p = directivité

η_r = efficacité radiative

P_u = puissance thermique unitaire de l'appareil

d = distance du sujet à l'appareil

Valeurs les plus élevées (cas le plus défavorable pour le fabricant SBM):

$$\alpha_k = 0,97$$

$$f_p = 0,10$$

$$\eta_r = 0,65$$

$$P_u = 27\,000 \text{ W}$$

Le cas le plus défavorable pour la distance d entre le sujet et un appareil de puissance thermique P et d'inclinaison maximale I de 35°, a été calculé comme suit:

$$d = h_i - 1, \quad \text{où } h_i = \left[\left(\sqrt{\frac{P_u}{540}} - 0,5 \right) \times \cos I \right] + 2$$

et équivaut à $d = 6,4 \text{ m}$

L'exposition maximale dans ce cas correspond à

$$E_{\text{IR max}} = 29,1 \approx 30 \text{ W m}^{-2}$$

La valeur limite d'exposition dans la gamme de longueurs d'onde 780-3 000 nm pour des durées d'exposition $t > 1\,000 \text{ s}$ est:

$$E_{\text{IR}} = 100 \text{ W m}^{-2}$$

De manière générale, les appareils de chauffage à rayonnement lumineux au gaz ne présentent pas de risques de surexposition aux rayonnements optiques et sont donc classés comme sources ne présentant pas de risques particuliers: dans le cas le plus défavorable, l'exposition associée à ce type de chauffage est nettement inférieure aux valeurs limites d'exposition en vigueur.

Informations supplémentaires

AICVF: Association des ingénieurs en climatique, ventilation et froid — France.

ELVHIS: Association européenne principale des fabricants de panneaux radiants lumineux à gaz

Recommandation 01-2006; «Chauffage: déperditions de base» basée sur la NF EN 12831 — mars 2004: systèmes de chauffage dans les bâtiments; méthodes de calcul des déperditions calorifiques de base.

SBM International, 3 impasse des Cottages de la Norge, 21490 Clenay, France.

D.7. Outillage laser

Les lasers sont utilisés dans un grand nombre de procédés de traitement des métaux. L'exemple ci-après montre un laser de découpe, mais les principes s'appliquent tout aussi bien aux lasers de soudage, marquage et de perçage.

Le flux énergétique, ou énergie par impulsion, du laser est tel que le laser est considéré comme instrument de classe 4. Par conséquent, toute exposition accidentelle au faisceau du laser — de la peau ou des yeux — est susceptible de causer une blessure grave.



Des milliers de lasers similaires sont utilisés en Europe. Cette évaluation ne couvre que le faisceau du laser. Toute autre partie dangereuse de la machine peut provoquer une blessure grave ou le décès du travailleur.

D.7.1. Identification des risques et des personnes à risque

Les travailleurs peuvent être exposés aux rayonnements du laser à différentes étapes de la manipulation du laser :

Installation
Utilisation normale
Maintenance
Entretien

Le laser sera parfois manipulé par des travailleurs d'autres établissements, par exemple les employés du fabricant ou d'une société d'entretien. Il est donc nécessaire de déterminer les risques en ce qui concerne ces travailleurs sur le site.

Étant donné les caractéristiques des faisceaux laser utilisés, le faisceau direct dépassera toujours la valeur limite d'exposition à proximité. Toutefois, il est nécessaire d'évaluer le faisceau diffusé.

Si l'instrument est très grand (par exemple les machines utilisées dans l'industrie navale), la distance nominale de risque oculaire peut être plus petite que la taille de l'instrument.

D.7.2. Évaluation et classification des risques

Afin de simplifier l'évaluation, il suffit de supposer que le faisceau laser dépassera toujours la valeur limite d'exposition et par conséquent de restreindre l'accès au faisceau. D'autres risques associés à son utilisation mettront en évidence différentes mesures de précaution à appliquer. Certains risques peuvent présenter un plus grand danger pour les travailleurs que le faisceau laser même.

Il sera parfois nécessaire d'évaluer l'éclairement ou la luminance énergétique afin d'élaborer les mesures préventives. Dans le pire des cas, supposer qu'un faisceau collimaté est présent à l'endroit en question.

D.7.3. Élaboration des actions préventives

Afin de déterminer les actions préventives à mettre en œuvre, il est nécessaire de tenir compte du niveau de protection requis et des exigences des travailleurs pour l'exécution du travail. Les mesures préventives qui gênent les activités ne seront pas appliquées avec succès.

À noter qu'il n'est pas toujours nécessaire de construire une enceinte autour de la machine de traitement entière. Il sera parfois nécessaire d'en construire une autour de la pièce utilisée pour effectuer le traitement.

Ces mesures doivent avoir pour objectif l'exécution de tous les travaux, y compris la maintenance et l'entretien, sans avoir recours à des équipements de protection individuelle. Lorsqu'il s'avère nécessaire d'observer le procédé en cours, utiliser des fenêtres correctement filtrées ou des instruments de visualisation à distance, telles les caméras.

Lors de la détermination des mesures préventives, il sera parfois nécessaire d'évaluer également les rayonnements optiques. Ceux-ci se situeront, dans certains cas, dans une section du spectre optique différente de celle du faisceau incident, et seront probablement incohérents.

D.8. Traitements à chaud

Nous remercions infiniment M. M. Brose de Fachbereich Elektrotechnik, Referat Optische Strahlung, Berufsgenossenschaft Elektro Textil Feinmechanik, Allemagne, pour son aide lors de ces évaluations.

D.8.1. Sidérurgie



Saarstahl AG, Völklingen, Allemagne

Saarstahl AG est spécialisée dans la production de fils machinés, barres d'acier et produits semi-finis de différentes qualités. L'usine de Völklingen abrite des installations sidérurgiques, des laminoirs et des forges pouvant traiter des lingots jusqu'à 200 tonnes.

Les mesures de sécurité relatives aux rayonnements optiques font partie intégrante de la gestion de la sécurité au sein de la société.



Bien que l'émission de rayonnements optiques (principalement des infrarouges) à des niveaux hautement dangereux ne puisse être évitée pendant la production et le traitement de l'acier, les mesures préventives élaborées minimisent l'accès des travailleurs aux rayonnements optiques dangereux et garantissent des conditions de travail sûres. Ces prescriptions comprennent:

- le contrôle à distance et la surveillance du procédé de fabrication afin de minimiser l'exposition humaine à des niveaux dangereux de rayonnements optiques;
- des procédures de travail limitant les manœuvres dans des conditions chaudes à 15 minutes, avec changement d'activité obligatoire;
- la surveillance à distance de la température du corps du travailleur afin d'éviter l'élévation de celle-ci;

- une formation professionnelle et sur la sécurité du personnel approfondie;
- un équipement de protection individuelle pour le corps entier lorsque l'accès est nécessaire durant le travail;
- des données concernant la surveillance médicale comprise dans l'évaluation des risques;
- la participation des représentants des employés à la gestion de la santé et de la sécurité.

D.8.2. Verrerie

Des niveaux dangereux de rayonnements optiques, principalement dans les gammes des ultraviolets et infrarouges, sont émis pendant la manipulation et la moulure du verre. Les manipulations manuelles nécessitent un accès humain proche de la source d'émission dangereuse, par exemple les chalumeaux.



Étant donné que les niveaux d'émission accessible aux travailleurs sont susceptibles de dépasser les limites d'exposition, il est nécessaire d'évaluer les risques de façon à assurer le contrôle approprié des risques de rayonnements optiques. Dans ce cas, il est probable que les limites d'exposition soient dépassées pour plusieurs risques relatifs aux rayonnements optiques, et les conditions les plus contraignantes sont applicables.

L'évaluation des risques doit englober:

- les émissions des instruments, y compris tout chalumeau supplémentaire, sur les parties concernées du corps du travailleur, par exemple les mains et le visage;
- le temps d'exposition prévisible durant la période de travail — les limites UV s'accumulent sur 8 heures;
- l'atténuation fournie par des masques et équipements de protection individuelle.

Les limites d'exposition aux UV sont cumulatives. Si elles risquent d'être dépassées, l'accès humain doit être limité: soit en diminuant le niveau d'émission (masques, protecteurs des yeux, protection des mains) soit en diminuant la durée d'exposition (temps permmissible maximal).

Lorsque l'équipement comprend un protecteur des yeux, l'évaluer de nouveau et s'assurer de son applicabilité si d'autres chalumeaux sont utilisés ou lors de l'introduction de nouvelles méthodes de travail.

Si le matériel émet des rayonnements optiques dans la région dangereuse des UV actiniques (180-400 nm), et que les limites d'exposition s'appliquent à la peau et aux yeux, calculer également l'exposition des mains. Lorsque les gants de protection s'avèrent peu pratiques ou peuvent créer des risques secondaires, le temps d'exposition doit être limité.



La photographie professionnelle en studio use:

- d'éclairage diffus,
- de projecteurs flash,
- de flash d'appareils professionnels,
- de flash d'appareils non professionnels.

D.8.3. Informations supplémentaires

BGFE • Informationen für die Glasbearbeitung mit Brennern — SD 53 (informations concernant le travail de verrerie au chalumeau)

D.9. Photographie au flash

Les appareils de rayonnements optiques artificiels font partie intégrante de la photographie professionnelle en studio. Ils servent à illuminer certains endroits, certaines zones ou l'arrière-plan, et à prendre des photos au flash.

Deux catégories de personnes sont à considérer dans ce cas:

- le photographe,
- la personne photographiée (par exemple le modèle).



Tableau D.9.1. Exposition extrême intrafaisceau direct simultané

	Source d'éclairage diffus	Projecteur flash	Flash d'appareil professionnel	Flash d'appareil non professionnel
Photographe	√	√	—	—
Modèle	√	√	√	√

L'éclairage énergétique spectrique et les caractéristiques temporelles (durée de flash) ont été utilisés afin d'évaluer la pire exposition possible et de la comparer aux valeurs limites d'exposition applicables.

En ce qui concerne les limites des UV et de la lumière bleue, l'exposition la plus extrême est l'accumulation des rayonnements sur 8 heures, suite à une exposition de multiples sources: on les exprime en termes de nombre de photos prises (flash ou illumination) afin de dépasser la limite d'exposition applicable.

Le risque thermique pour la rétine ne change pas avec le temps en ce qui concerne les durées d'exposition de plus de 10 secondes; elles sont limitées par les champs de vision de 100 mrad; ne considérer qu'une seule décharge d'une seule source pour effectuer l'évaluation de ce risque.

Les niveaux de risques UV, UVA et IR par rapport aux limites de toutes les sources testées s'avèrent insignifiants.

Tableau D.9.2. Niveaux de risque les plus élevés relatifs aux sources de photographie au flash

	Éclairage diffus	Projecteur flash	Flash d'un appareil photo professionnel	Flash d'un appareil photo non professionnel
Nombre de décharges pour dépasser la LVE lumière bleue	> 10 ⁷	> 10 ⁶	> 20 000	> 13 000
% de la VLE pertinente aux lésions thermiques rétinienne dans une seule décharge	< 0,03 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %

La photographie ne présente pas de véritable risque de surexposition aux rayonnements optiques, ni pour le photographe ni pour le modèle: le nombre de flashes nécessaire pour dépasser la valeur limite d'exposition à la lumière bleue est supérieur à plusieurs milliers de cas d'exposition aux intrafaisceaux simultanés émis par des sources multiples.

Annexe E. Exigences d'autres directives européennes

Les directives européennes sont élaborées suite à une décision collective obligatoire solidaire prise par les États membres, par l'intermédiaire de leurs ministres nationaux (du Conseil de l'Union européenne) et des membres du Parlement européen. Les deux organismes doivent approuver le texte de la directive selon des termes identiques. Les directives établissent les objectifs convenus que les États membres doivent respecter, tout en leur permettant une certaine flexibilité dans la mise en pratique. Chaque État membre mettra en œuvre la directive conformément à la législation nationale, et la directive indique la date de son entrée en vigueur.

1989 a vu la publication de la directive 89/391/CEE, concernant la mise en œuvre de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleurs au travail. Cette directive traite de la gestion de la santé et de la sécurité au travail, et comprend les principes obligatoires applicables en vue de mettre en œuvre ces prescriptions. Étant donné la portée générale de cette directive, il n'est pas possible de la résumer ici de façon adéquate: il est donc nécessaire de la lire dans son intégralité, ou les réglementations appropriées élaborées dans chaque État membre pour faciliter son application. En termes généraux, la directive impose l'obligation d'effectuer des évaluations de risques conformément à un ensemble de principes généraux.

La directive 89/391/CEE est généralement nommée la «directive-cadre», car un de ses articles entreprend de créer un nombre de directives différentes plus précises concernant la gestion de la santé et de la sécurité par

rapport à des dangers ou industries spécifiques: ces directives doivent être respectées selon les mêmes principes applicables à la directive-cadre.

La directive 2006/25/CE (la directive relative aux rayonnements optiques artificiels) représente une des directives issues de la directive-cadre 89/391/CEE. Il existe d'autres directives pertinentes, telles la directive 89/654/CEE relative aux prescriptions minimales de santé et de sécurité sur les lieux de travail (la directive relative aux lieux de travail) ainsi que la directive 89/655/CEE relative aux prescriptions minimales de sécurité et de santé concernant l'utilisation des équipements par les travailleurs au travail (la directive «utilisation des équipements de travail»).

Cette dernière a été modifiée par la directive 95/63/CE (également relative aux prescriptions minimales de santé et de sécurité sur les lieux de travail).

Conformément aux obligations légales relatives aux rayonnements optiques artificiels, les employeurs doivent satisfaire à toutes les prescriptions des quatre directives susmentionnées. Toutefois, il se peut que la législation de chaque État membre impose des obligations supplémentaires en sus des principes desdites directives.

Par conséquent, lorsque l'employeur cherche à se conformer aux prescriptions de la directive relative aux rayonnements optiques artificiels, il doit se familiariser avec toute autre obligation concernant la gestion de la santé et de la sécurité relative aux rayonnements optiques.

Directive-cadre	Directive relative aux lieux de travail	Directive relative aux équipements de travail (et ses modifications)
<p>Éviter tout risque dans la mesure du possible.</p> <p>Évaluer tout risque ne pouvant être évité.</p> <p>Combattre les risques à la source.</p> <p>Méthodes de travail adaptées à la personne.</p> <p>Méthodes de travail adaptées au progrès technique.</p> <p>Tout équipement ou pratique dangereux doit être remplacé par un substitut moins ou non dangereux.</p> <p>Élaboration de prescriptions générales cohérentes de prévention relatives à la technologie, à l'organisation, aux conditions de travail et relations sociales.</p> <p>Mesures préventives collectives prioritaires par rapport aux mesures individuelles.</p> <p>Instruction appropriée des travailleurs.</p>	<p>Maintenance de l'équipement effectuée et défauts rectifiés aussi vite que possible.</p> <p>Équipements de sécurité régulièrement entretenus et inspectés.</p> <p>Travailleurs (ou leurs représentants) informés des mesures à prendre en ce qui concerne la sécurité et la santé sur le lieu de travail.</p> <p>Le lieu de travail, à l'intérieur ou à l'extérieur, est correctement éclairé afin d'assurer la santé et la sécurité des travailleurs. Si l'éclairage naturel est insuffisant, fournir un éclairage artificiel.</p>	<p>Tout équipement présentant des risques spécifiques pour la santé est utilisé uniquement par les travailleurs assignés à ce travail.</p> <p>Réparations, modifications et entretien effectués uniquement par le personnel assigné à ces tâches.</p> <p>Formation adéquate des travailleurs à l'utilisation des équipements.</p> <p>Commandes d'urgence de sécurité clairement visibles.</p> <p>Commandes situées en dehors de la zone de danger.</p> <p>L'opérateur doit voir que personne ne se trouve dans la zone de danger, ou un signal d'alarme doit être activé lorsque l'équipement est sur le point de s'avérer dangereux.</p> <p>Toute défectuosité dans un système de contrôle ne doit pas mener à une situation dangereuse.</p> <p>L'équipement doit démarrer uniquement suite à l'actionnement intentionnel d'une commande.</p> <p>L'équipement redémarre uniquement après l'actionnement intentionnel d'une commande.</p> <p>L'équipement doit être muni d'une commande permettant de l'arrêter complètement et en toute sécurité.</p> <p>Les lieux de travail où se trouve l'équipement sont correctement éclairés.</p> <p>Les avertissements doivent être distincts, clairement perceptibles et aisément interprétés.</p> <p>L'entretien doit se faire en toute sécurité.</p> <p>L'équipement doit porter tout avertissement ou marquage nécessaire pour assurer la sécurité des travailleurs.</p> <p>Lorsque les conditions d'installation déterminent les critères d'utilisation sûre, inspecter l'équipement après installation et avant utilisation.</p> <p>Tout équipement exposé à des conditions provoquant la détérioration de celui-ci doit être inspecté régulièrement et les constatations enregistrées.</p>

Cinq autres directives pertinentes en matière de sécurité du travail en présence de rayonnements optiques artificiels ont été rédigées. Elles concernent la fourniture d'équipements pouvant émettre, ou capables d'atténuer les effets,

des rayonnements optiques. Elles concernent donc particulièrement les fabricants et fournisseurs d'équipements, et non les employeurs.

Toutefois, l'employeur doit savoir que ces directives existent et que toute machine ou équipement de production disponible sur le marché européen doit être conforme aux normes de ces directives. Deux de ces directives exigent également que le fournisseur fournisse des informations détaillées quant à la nature des rayonnements, aux moyens de protéger l'utilisateur, aux moyens d'éviter toute utilisation inappropriée et d'éliminer tout risque inhérent à l'installation.

Les directives concernant les fournisseurs sont les suivantes:

- la directive 2006/42/CE relative aux machines (directive «machines»);
- la directive 2006/95/CE concernant le rapprochement des législations des États membres relatives au matériel électrique destiné à être employé dans certaines limites de tension (directive «basse tension»);
- la directive 89/686/CEE concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux équipements de protection individuelle (directive «EPI»);
- la directive 93/42/CEE relative aux dispositifs médicaux («directive médicale»);
- la directive 98/79/CE relative aux dispositifs médicaux de diagnostic in vitro (directive «in vitro»).

Une partie des dispositions pertinentes de ces directives sont résumées ci-après:

Directive «machines»	Directive «basse tension»	Directive «EPI»	«Directive médicale» et directive «in vitro»
<p>Les machines sont équipées d'un éclairage intégré permettant une utilisation sûre.</p> <p>Toute émission indésirable sera éliminée ou réduite à un niveau ne présentant aucun effet nocif pour les utilisateurs.</p> <p>Toute émission présente durant le réglage, l'utilisation et le nettoyage doit se limiter à un niveau ne présentant aucun effet nocif pour les travailleurs.</p> <p>Si la machine comprend un ou des lasers, ils ne doivent pas produire d'émissions accidentelles.</p> <p>Les lasers doivent être installés de façon à ce que toute émission par diffusion ou réflexion, et tout rayonnement secondaire, n'ait aucun effet sur la santé.</p> <p>Tout équipement optique utilisé afin de visualiser ou d'ajuster les faisceaux des lasers doit être conçu de manière à ne pas présenter de risque pour la santé.</p> <p>Lors de la mise en œuvre de toute conception afin de se conformer à cette directive, les normes pertinentes doivent être indiquées.</p>	<p>Cette directive s'applique à tout équipement de travail devant opérer à des tensions de 50-1000 V CA ou 75-1500 V CC. La directive prescrit que tout équipement de cette catégorie ne doit pas émettre de rayonnements potentiellement dangereux.</p>	<p>Les équipements de protection individuelle doivent protéger l'utilisateur sans toutefois porter préjudice à la santé ou à la sécurité de toute autre personne.</p> <p>La majorité des rayonnements potentiellement nocifs doivent être absorbés ou réfléchis sans nuire à la vision de l'utilisateur.</p> <p>Les équipements de protection individuelle sont sélectionnés de façon à ce que les yeux de l'utilisateur ne soient jamais exposés à des rayonnements au-dessus de la valeur d'exposition permise maximale.</p> <p>L'optique de l'EPI ne doit pas se détériorer suite à une exposition aux rayonnements contre lesquels il doit protéger le travailleur, conformément aux conditions d'utilisation prévisibles.</p>	<p>Les dispositifs doivent être conçus de manière à réduire l'exposition des patients, des utilisateurs et de toute autre personne.</p> <p>L'utilisateur doit pouvoir contrôler le niveau d'émissions.</p> <p>Les dispositifs doivent être équipés d'avertisseurs d'émissions visibles/audibles.</p> <p>Les instructions d'utilisation détailleront la nature des rayonnements, les moyens de protéger l'utilisateur, les moyens d'éviter toute utilisation incorrecte, ainsi que les moyens d'élimination de tout risque normalement rencontré durant l'installation.</p>

Annexe F. Législations nationales des États membres transposant la directive 2006/25/CE (jusqu'à la date du 10 décembre 2010) et recommandations

Pays	Législation	Recommandations
Autriche	<p>Oö. Landes- und Gemeinde-Dienstrechtsänderungsgesetz 2007 [Landesgesetzblatt (LGBl.), 25/07/2007, 56/2007].</p> <p>Verordnung der Landesregierung über den Schutz der Landes- und Gemeindebediensteten vor der Gefährdung durch künstliche optische Strahlung [Landesgesetzblatt (LGBl.), 18/02/2010, 4/2010].</p> <p>Oö. Gemeinde- und Landes-Dienstrechtsänderungsgesetz 2008 [Landesgesetzblatt (LGBl.), 29/08/2008, 73/2008].</p> <p>Verordnung der Wiener Landesregierung, mit der die Verordnung der Wiener Landesregierung über den Schutz der in Dienststellen der Gemeinde Wien beschäftigten Bediensteten vor der Einwirkung durch optische Strahlung erlassen und die Verordnung der Wiener Landesregierung über die Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz in Dienststellen der Gemeinde Wien geändert wird [Landesgesetzblatt (LGBl.), 51/2010, 24/09/2010].</p> <p>Verordnung der Oö. Landesregierung, mit der die Verordnung über den Schutz der Dienstnehmerinnen und Dienstnehmer in der Land- und Forstwirtschaft vor der Einwirkung durch künstliche optische Strahlung (Oö. VOPST-LF) erlassen wird und mit der die Verordnung über die Gesundheitsüberwachung in der Land- und Forstwirtschaft und die Verordnung über Beschäftigungsverbote und -beschränkungen für Jugendliche in land- und forstwirtschaftlichen Betrieben geändert werden [Landesgesetzblatt (LGBl.), 65/2010, 30/09/2010].</p> <p>Gesetz, mit dem die Dienstordnung 1994 (28. Novelle zur Dienstordnung 1994), die Besoldungsordnung 1994 (36. Novelle zur Besoldungsordnung 1994), die Vertragsbedienstetenordnung 1995 (32. Novelle zur Vertragsbedienstetenordnung 1995), die Pensionsordnung 1995 (20. Novelle zur Pensionsordnung 1995), das Ruhe- und Versorgungsgesetz (Landesgesetz 1995 (9. Novelle zum Ruhe- und Versorgungsgesetz 1995)), das Unfallfürsorgegesetz 1967 (17. Novelle zum Unfallfürsorgegesetz 1967), das Wiener Bedienstetenschutzgesetz 1998 (5. Novelle zum Wiener Bedienstetenschutzgesetz 1998), das Wiener Personalvertretungsgesetz (16. Novelle zum Wiener Personalvertretungsgesetz), das Wiener Bezügegesetz 1995 (10. Novelle zum Wiener Bezügegesetz 1995), das Wiener Verwaltungssenaat-Dienstrechtsgesetz 1995 (11. Novelle zum Wiener Verwaltungssenaat-Dienstrechtsgesetz 1995) und das Gesetz über den Unabhängigen Verwaltungssenat Wien (8. Novelle zum Gesetz über den Unabhängigen Verwaltungssenat Wien) geändert werden und das Wiener Eltern-Karenzgelddzuschussgesetz aufgehoben wird [Landesgesetzblatt (LGBl.), 42/2010, 17/09/2010].</p> <p>Verordnung der Salzburger Landesregierung vom 1. Juli 2010 über Schutzvorschriften vor Gefährdung durch künstliche optische Strahlung (S.ko5-V) [Landesgesetzblatt (LGBl.), 55/2010, 06/08/2010].</p> <p>Verordnung des Bundesministers für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz, mit der die Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen vor der Einwirkung durch optische Strahlung (Verordnung optische Strahlung - VOPST) erlassen wird und mit der die Verordnung über die Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz und die Verordnung über Beschäftigungsverbote und -beschränkungen für Jugendliche geändert werden [Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich (BGBl.), I/Nr. 221/2010, 08/07/2010].</p>	<p>UV-Strahlenbelastung am Arbeitsplatz, Sicherheitsinformation der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt; Sicherheit Kompakt; Merkblatt M 014.</p> <p>Grundlagen der Lasersicherheit, Sicherheitsinformation der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt; Sicherheit Kompakt; Merkblatt M 080.</p>
Belgique	<p>FEDERALE OVERHEIDSDIENST WERKGELEGENHEID, ARBEID EN SOCIAAL OVERLEG - 22 APRIL 2010. – Koninklijk besluit betreffende de bescherming van de gezondheid en de veiligheid van de werknemers tegen de risico's van kunstmatige optische straling op het werk [Moniteur Belge, 06/05/2010, S. 25349-25386].</p>	

Pays	Législation	Recommandations
Bulgarie	<p>Наредба № 5 от 11 юни 2010 г. за минималните изисквания за осигуряване на здравето и безопасността на работещите при ризикове, свързани с експозиция на изкуствени оптични лъчения [Държавен вестник, 49, 29/06/2010, 00035-00048]</p> <p>Кодекс на труда [Държавен вестник, 15, 23/02/2010]</p> <p>Закон за здравословни и безопасни условия на труд [Държавен вестник, 12, 12/02/2010]</p> <p>Наредба № 7 от 23.09.1999 г. за минималните изисквания за здравословни и безопасни условия на труд на работните места и при използване на работното оборудване [Държавен вестник, 40, 18/04/2008]</p>	
Chypre	<p>Οι Περὶ Αφυλάξιας καὶ Υγιείας στὴν Ἐργασία (Τεχνικὴ Ἀπὸκλιση) Κανονισμοὶ τοῦ 2010 [Cyprus Gazette, 4433, 11/06/2010, 01473-01493]</p>	
République tchèque	<p>Zákon č. 320/2002 Sb., o změně a zrušení některých zákonů v souvislosti s ukončením činnosti okresních úřadů [Sbírka zákonů CR, 18/07/2002].</p> <p>Zákon č. 20/1966 Sb., o péči o zdraví lidu [Sbírka zákonů CR, 30/03/1966].</p> <p>Zákon č. 111/2007 Sb., kterým se mění zákon č. 20/1966 Sb., o péči o zdraví lidu, ve znění pozdějších předpisů a některé další zákony [Sbírka zákonů CR, 15/05/2007].</p> <p>Zákon č. 309/2006 Sb., kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci) [Sbírka zákonů CR, 22/06/2006].</p> <p>Nařízení vlády č. 106/2010 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením [Sbírka zákonů CR, 19/04/2010].</p> <p>Zákon č. 14/1997 Sb., kterým se mění a doplňuje zákon č. 20/1966 Sb., o péči o zdraví lidu, ve znění pozdějších předpisů, a zákon České národní rady č. 36/1975 Sb., o pokutách za porušování právních předpisů o vytváření a ochraně zdravotních životních podmínek, ve znění zákona České národní rady č. 137/1982 Sb. [Sbírka zákonů CR, 24/02/1997].</p> <p>Zákon České národní rady č. 548/1991 Sb., kterým se mění a doplňuje zákon č. 20/1966 Sb., o péči o zdraví lidu, ve znění zákona České národní rady č. 210/1990 Sb. a zákona České národní rady č. 425/1990 Sb. [Sbírka zákonů CR, 30/12/1991].</p> <p>Nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením [Sbírka zákonů CR, 09/01/2008].</p> <p>Zákon č. 392/2005 Sb., kterým se mění zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a některé další zákony [Sbírka zákonů CR, 27/09/2005].</p> <p>Zákon č. 274/2003 Sb., kterým se mění některé zákony na úseku ochrany veřejného zdraví [Sbírka zákonů CR, 27/08/2003].</p> <p>Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů [Sbírka zákonů CR, 11/08/2000].</p> <p>Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce [Sbírka zákonů CR, 07/06/2006].</p> <p>Zákon č. 48/1997 Sb., o veřejném zdravotním pojištění a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů [Sbírka zákonů CR, 07/03/1997].</p> <p>Zákon č. 362/2007, kterým se mění zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce, ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony [Sbírka zákonů CR, 28/12/2007].</p>	<p>Lignes directrices relatives au travail avec lasers n° 61</p> <p>Poster UV Zaren (avertissant des dangers des rayonnements UV)</p> <p>Lignes directrices CIPRNI</p>
Danemark	<p>Bekendtgørelse om beskyttelse mod udsættelse for kunstig optisk stråling i forbindelse med arbejdet [Lovtidende A, 29/05/2010].</p> <p>Bekendtgørelse om beskyttelse mod røisici ved udsættelse for kunstig optisk stråling på offshoreanlæg m.v. [Lovtidende A, 21/04/2010].</p>	<p>L'acte danois sur l'environnement du travail stipule un «environnement de travail sûr et favorable à la santé». Il est appliqué conformément aux recommandations CIPRNI ainsi que toute norme européenne relative aux rayonnements optiques (par exemple NF-EN 60825 et NF-EN 207/208).</p>

Pays	Législation	Recommandations
Estonie	TÖÖTERVISHOIJU JA TÖÖOHUTUSE SEADUSE MUUTMISE SEADUS [Elektroniline Riigi Teataja, RTI, 16.01.2007, 3, 11]. Töötervishoiu ja tööhutuse nõuded tehnilisest kiirgusest mõjutatud töökohakonnas, tehniliku optilise kiirguse piirnormid ja kiirguse mõõtmise kord! [Elektroniline Riigi Teataja, RTI, 22.04.2010, 16, 84].	
Finlande	Valtionuovoston asetus työntekijöiden suojelemiseksi optiselle säteilijlle altistumisesta aiheutuvalta vaarolta / Statsrådets förordning om skydd av arbetstagare mot risker som uppstår vid exponering för optisk strålning [Suomen Saadokskoelma (SK), 05/03/2010, 00703-00720, 146/2010]	
France	Décret no 2010-750 du 2 juillet 2010 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels [Journal Officiel de la République Française (JORF), 04/07/2010]	
Allemagne	Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung und zur Änderung von Arbeitsschutzverordnungen vom 19. Juli 2010 [Bundesgesetzblatt Teil 1 (BGBl.), 38, 26/07/2010, 00960-00967]	<p>Information BGI 5006: «Valeurs limites d'exposition relatives aux rayonnements optiques artificiels» Lignes directrices relatives aux rayonnements non ionisants: «rayonnements laser» Lignes directrices relatives aux rayonnements non ionisants: «rayonnements ultraviolets des sources artificielles» Lignes directrices relatives aux rayonnements non ionisants: «rayonnements visibles et infrarouges» Les méthodes d'évaluation des risques associés aux sources artificielles sont décrites dans les documents suivants: NF EN 60825-1: 2008: «Sécurité des appareils à lasers – Partie 1: Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur» NF EN 14255-1: 2005: «Mesurage et évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents – Partie 1: Rayonnements ultraviolets émis par des sources artificielles sur les lieux de travail» IEC 62471: 2006: «Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes» DIN EN 12198-1: 2000 «Sécurité des machines – Estimation et réduction des risques engendrés par les rayonnements émis par les machines – Partie 1: Principes généraux» Lignes directrices relatives aux rayonnements non ionisants: «Rayonnements ultraviolets émis par les sources artificielles» BGR 107: Règles de sécurité à observer pour les sècheurs d'imprimeuses et les machines de traitement de papier Les méthodes de réduction des risques relatives aux rayonnements optiques émis par des sources artificielles sont décrites dans les documents suivants: Réglementation sur la prévention des accidents BGV B2: «Rayonnements laser» Information BGI 5006: «Valeurs limites d'exposition aux rayonnements optiques artificiels» Information BGI 5007: Dispositifs laser pour les spectacles et projections NF EN 12198-3: 2002 «Sécurité des machines – Estimation et réduction des risques engendrés par les rayonnements émis par les machines – Partie 3: Réduction du rayonnement par atténuation ou par écrans» Lignes directrices concernant les rayonnements non ionisants: «Rayonnements laser» Lignes directrices concernant les rayonnements non ionisants: «Rayonnements ultraviolets émis par les sources artificielles» Les méthodes de réduction des risques relatives à des industries spécifiques sont également décrites dans les documents suivants: Réglementation sur la prévention des accidents BGV D1: «Soudage, découpage et méthodes associées» «Séchéage aux UV», Association professionnelle de l'imprimerie et de la transformation des papiers Merkblatt über Betrachtungsplätze für die fluoreszierende Prüfung mit dem Magnetpulver- und Eindringverfahren – Ausrüstung und Schutzmaßnahmen bei Arbeiten mit UV-Strahlung Information BGI 5092 Auswahl von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen Information BGI 5031 Umgang mit Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systemen (LWKS) Circulaires et notes: Circulaire de l'Institut fédéral de la santé et la sécurité professionnelles: «Damit nichts ins Auge geht... – Schutz vor Laserstrahlung» Circulaire de l'Institut fédéral de la santé et la sécurité professionnelles: «Éblouissement: cécité temporaire. Protection contre les rayonnements optiques» Circulaire de l'Institut fédéral de la santé et la sécurité professionnelles: «Lasers portatifs et matériaux de travail»</p>
Grèce	Ελάχιστες προδιαγραφές υγείας και ασφαλείας όσον αφορά στην έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (τεχνητή οπτική ακτινοβολία), σε συμμόρφωση με την οδηγία 2006/25/ΕΚ [Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ) (τεύχος Α), 145, 01/09/2010, 03075-03094]	

Pays	Législation	Recommandations
Hongrie	<p>1991. évi XI. törvény az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálatról [Magyar Közlöny, 00753-00759].</p> <p>2/1998. (I. 16.) MüM rendelet a munkahelyen alkalmazandó biztonsági és egészségvédelmi jelzésekről [Magyar Közlöny, 16/01/1998, 174-192, 2].</p> <p>A Kormány 218/1999. (XII. 28.) Korm. rendelete az egyes szabálysértésekről [Magyar Közlöny, 28/12/1999, 08942-08968, 1999/125].</p> <p>Az egészségügyi miniszter 22/2010. (V. 7.) EüM rendelete a munkavállalókat érő mesterseges optikai sugárzás expozícióra vonatkozó minimális egészségügyi és biztonsági követelményekről [Magyar Közlöny, 14597-14614].</p> <p>1997. évi XVII. Törvény az egészségügyi és a hozzájuk kapcsolódó személyes adatok kezeléséről és védelméről [Magyar Közlöny, 05/06/1997, 03518-03528, 1997/49].</p> <p>2009. évi CLIV. Törvény az egyes egészségügyi tárgyú törvények módosításáról [Magyar Közlöny, 47035-47090].</p> <p>1993. évi XCIII. tv. a munkavédelemről [Magyar Közlöny, 03/11/1993, 9942-9953, 160].</p> <p>33/1998. (VI. 24.) NM rendelet a munkaköri, szakmai, illetve személyi higiénés alkalmasság orvosi vizsgálatáról és véleményezéséről [Magyar Közlöny, 24/06/1998, 4489-4516, 54].</p>	<p>Les normes européennes suivantes sont également applicables en Hongrie:</p> <p>IEC 60825 -1, -2, -4, -12</p> <p>IEC 60335-2-27</p> <p>IEC 60601-2-22</p> <p>EN 12198-1</p> <p>EN 14255-1, -2, -4</p>
Irlande	<p>SAFETY, HEALTH AND WELFARE AT WORK (GENERAL APPLICATION) (AMENDMENT) REGULATIONS 2010 [Iris Oifigiúil, 04/05/2010, 00628-00629, 176 of 2010].</p>	Lignes directrices CIPRNI
Italie	<p>Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro [Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 30/04/2008, S.O. N.108/L – G.U.N. 101].</p>	
Lettonie	<p>Ministru kabineta 2009.gada 30.jūnija noteikumi Nr.731 «Darba aizsardzības prasības nodarbināto aizsardzībai pret mākslīgā optiskā starojuma radīto risku darba vidē» [Latvijas Vēstnesis, 07/07/2009, 105].</p>	Normes lettones: Mesurage et évaluation des expositions des personnes aux rayonnements optiques incohérents – Partie 2: Rayonnements visibles et infrarouges émis par les sources artificielles sur les lieux de travail
Lituanie	<p>LIEUVOS RESPUBLIKOS ADMINISTRACINIŲ TEISĖS PAŽEIDIMŲ KODEKSO 5, 41, 51(3), 51(12), 55, 58, 70, 76, 77, 77(1), 81, 82, 84(1), 87, 89(1), 91, 99(8), 183, 188(4), 188(9), 189(1), 214(3), 221, 224, 225, 232(1), 237, 242, 244, 246(2), 259(1), 262, 263, 268, 320 STRAIPSNIŲ PAKEITIMO BEI PAPILDYMO IR KODEKSO PAPILDYMO 42(4), 51(18), 51(19), 51(20), 51(21), 51(22), 56(2), 58(1), 78(1), 89(2), 99(9), 99(10), 148, 173(20), 173(21) STRAIPSNIAIS ĮSTATYMAS Nr. X-691 [Nouvelles de l'État, 30/06/2006, 73].</p> <p>Lietuvos Respublikos socialinės apsaugos ir darbo ministro ir Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2007 m. spalio 5 d. įsakymas Nr. A1-277/V-785 «Dėl 2007 m. birželio 20 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvos 2007/30/EB, iš dalies keičiančios Tarybos direktyvą 89/391/EEB, jos atskiras direktyvas ir Tarybos direktyvas 83/477/EEB, 91/383/EEB, 92/29/EEB bei 94/33/EB, siekiant supaprastinti ir racionalizuoti praktinio įgyvendinimo a-taskaitas, įgyvendinimo» 2007 m. spalio 5 d. Nr. A1-277/V-785 [Nouvelles de l'État, 11/10/2007, 105].</p> <p>Lietuvos Respublikos socialinės apsaugos ir darbo ministro ir Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2007 m. gruodžio 14 d. įsakymas Nr. A1-366/V-1025 «Dėl darbuotojų apsaugos nuo dirbtinės optinės spinduliuotės ke-liamos rizikos nuostatų patvirtinimo» [Nouvelles de l'État, 22/12/2007, 136].</p> <p>Lietuvos Respublikos administracinių teisės pažeidimų kodekso pakeitimo ir papildymo įstatymas Nr. VIII-1543 [Nouvelles de l'État, 15/03/2000, 22].</p>	

Pays	Législation	Recommandations
Luxembourg	Règlement grand-ducal du 26 juillet 2010 relatif aux prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des salariés aux risques dus aux agents physiques (rayonnements optiques artificiels et rayonnement solaire) 2. portant modification du règlement grand-ducal modifié du 17 Juin 1997 concernant la périodicité des examens médicaux en matière de médecine du travail [Mémorial luxembourgeois A, 131, 12/08/2010, 02164-02182]	
Malte	L.N. 250 of 2010 OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY AUTHORITY ACT (Cap. 424) Work Place (Minimum Health and Safety Requirements for the Protection of Workers from Risks resulting from Exposure to Artificial Optical Radiation) Regulations, 2010 [The Malta government gazette, 30/04/2010, 02403-02450, 18586].	
Pays-Bas	Besluit van 1 februari 2010 tot wijziging van het Arbeidsomstandighedenbesluit, houdende regels met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van kunstmatige optische straling [Staatsblad (Bulletin des Lois et des Décrets royaux), 09/03/2010, 00001-00021, Stb. 2010, 103].	Optische straling in arbeidssituaties
Pologne	Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 maja 2010 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne [Dziennik Ustaw, 2010/100/643, 09/06/2010] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [Dziennik Ustaw, 2010/141/950, 06/08/2010]	Il existe des publications relatives aux méthodes d'évaluation des risques professionnels ainsi que des lignes directrices concernant les rayonnements optiques: «Évaluation des risques professionnels. Partie 1: Méthode de base» éd. M.W Zawieska, CIOP-PIB, Varsovie 2004 (3 ^e édition); «Évaluation des risques professionnels. Partie 2. Soutien logiciel STEF» éd. M.W Zawieska, CIOP, Varsovie 2000; «Risques professionnels. Méthode de base des évaluations», éd. M.W. Zawieska, CIOP-PIB, Varsovie, 2007.
Portugal	Assembleia da República-Estabelece as prescrições mínimas para protecção dos trabalhadores contra os riscos para a saúde e a segurança devidos à exposição, durante o trabalho, a radiações ópticas de fontes artificiais, transpondo a Directiva n.º 2006/25/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril [Diário da República, 168, 30/08/2010, 03770-03782] Assembleia da República Rectifica a Lei n.º 25/2010, de 30 de Agosto, que estabelece as prescrições mínimas para protecção dos trabalhadores contra os riscos para a saúde e a segurança devidos à exposição, durante o trabalho, a radiações ópticas de fontes artificiais, transpondo a Directiva n.º 2006/25/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, publicada no Diário da República, 1.ª série, n.º 168, de 30 de Agosto de 2010 [Diário da República I, 209, 27/10/2010, 04849-04859]	
Roumanie	Hotărârea Guvernului privind cerințele minime de securitate și sănătate în muncă referitoare la expunerea lucrătorilor la riscuri generate de radiațiile optice artificiale [Monitorul Oficial al României, 427, 25/06/2010, 00002-00015]	
Slovaquie	Zákon č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov [Zbierka zákonov SR, 31/07/2007, 154]. Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 410/2007 Z. z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou umelému optickému žiareniu [Zbierka zákonov SR, 01/09/2007, 178].	
Slovénie	Uredba o varovanju delavcev pred tveganjizaradi izpostavljenosti umetnim optičnim sevanjem [Uradni list RS, 34/2010, 30/04/2010, 04892-04909]	

Pays	Législation	Recommandations
Espagne	<p>Real Decreto 486/2010, de 23 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales [Boletín Oficial del Estado (B.O.E), 24/04/2010, 36103-36120, 99/2010].</p> <p>Corrección de errores del Real Decreto 486/2010, de 23 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales [Boletín Oficial del Estado (B.O.E), 06/05/2010, 40171-40171, 110/2010].</p>	<p>NORMES</p> <p>UNE-CR 13464: 1999 «Guía para la selección, utilización y mantenimiento de los protectores oculares y faciales de uso profesional».</p> <p>UNE EN 166: 2002 «Protección individual del ojo. Requisitos»</p> <p>UNE EN 169: 2003 «Protección individual de los ojos. Filtros para soldadura y técnicas relacionadas. Especificaciones del coeficiente de transmisión (transmitancia) y uso recomendado»</p> <p>UNE EN 170: 2003 «Protección individual de los ojos. Filtros para el ultravioleta. Especificaciones del coeficiente de transmisión (transmitancia) y uso recomendado».</p> <p>UNE EN 207 «Filtros y protectores de los ojos contra la radiación láser (gafas de protección láser)». (Esta norma tiene ampliaciones y modificaciones).</p> <p>UNE EN 208 «Gafas de protección para los trabajos de ajuste de láser y sistemas láser (gafas de ajuste láser)». Esta norma tiene ampliaciones y modificaciones).</p> <p>UNE-EN 60825 «Seguridad de los productos láser» esta norma tiene varias partes y numerosas correcciones</p> <p>UNE-EN 14255 Medición y evaluación de la exposición de las personas a la radiación óptica incoherente. (Esta norma tiene varias partes)</p> <p>POSTERS</p> <p>La Directiva 2006/25/CE sobre exposición laboral a radiaciones ópticas artificiales.</p> <p>Méthodologie d'évaluation des expositions aux rayonnements optiques sur les lieux de travail</p> <p>Limite spectrique: application pour l'évaluation des expositions aux UV et rayonnements visibles sur les lieux de travail</p> <p>DOCUMENTS INSHT SUPPLÉMENTAIRES</p> <p>NTP 755: «Radiaciones ópticas: Metodología de evaluación de la exposición laboral».</p> <p>NTP 654: Láseres: nueva clasificación del riesgo (UNE EN 60825-1 /A2: 2002).</p> <p>NTP 261: Láseres: riesgos en su utilización.</p> <p>FDN-17: Selección de pantallas faciales y gafas de protección.</p> <p>FDN-23: Comercialización de las Pantallas de Protección para Soldadores.</p> <p>Guías orientativas para la selección y utilización de EPI — Protectores oculares y faciales.</p> <p>CD_R. Prévention des risques sur les lieux de travail: cours de formation avancé sur la performance des fonctions de niveau supérieur. Version 2.</p> <p>Algunas cuestiones sobre seguridad Láser.</p> <p>Evaluación de las Condiciones de Trabajo en la pequeña y mediana empresa.</p> <p>Riesgos por radiaciones ópticas procedentes de fuentes luminosas.</p> <p>La exposición laboral a radiaciones ópticas.</p>
Suède	<p>Arbetsmiljöverkets föreskrifter om artificiell optisk strålning (AFS 2009:7). [Arbetsmiljöverkets författningssamling (AFS), 10/11/2009, 2009:7].</p>	
Royaume-Uni	<p>The Control of Artificial Optical Radiation at Work Regulations 2010 [Her Majesty's Stationery Office (HMSO), 06/04/2010., GB.SI 2010 No. 1140]</p> <p>The Control of Artificial Optical Radiation at Work Regulations (Northern Ireland) 2010 [Her Majesty's Stationery Office (HMSO), SR of NI 2010 No. 180]</p> <p>Factories (Protection of Workers from Physical Agents) (Artificial Optical Radiation) Regulations 2010 [Gibraltar Gazette, 3801, 29/07/2010]</p>	<p>MHRA DB2008(03). Lignes directrices pertinentes pour une utilisation sûre des lasers, instruments à sources de lumière intense et LED à des fins médicales, chirurgicales, dentales ou esthétiques.</p> <p>HSG95. Utilisation sûre des lasers dans les spectacles.</p>

Annexe G. Normes européennes et internationales

Un grand nombre de normes européennes relatives aux équipements émetteurs de rayonnements optiques décrivent les émissions et les prescriptions préventives à mettre en œuvre en ce qui les concerne. Il existe également des normes internationales, telles les ISO, IEC et CIE, qui n'ont pas été publiées en tant que normes européennes. Il existe en sus une troisième catégorie de documents, des documents de lignes directrices, publiés au niveau international, mais qui n'ont pas été adoptés par tous les États membres.

L'inclusion d'un document dans cette annexe ne signifie pas que les employeurs doivent l'obtenir ou le lire. Toutefois, certains documents peuvent aider les employeurs à effectuer les évaluations de risques et à gérer les risques.

G.1. Normes européennes

EN 165: 2005 — Protection individuelle de l'œil — Vocabulaire

EN 166: 2002 — Protection individuelle de l'œil — Spécifications

EN 167: 2002 — Protection individuelle de l'œil — Méthodes de tests optiques

EN 168: 2002 — Protection individuelle de l'œil — Méthodes de tests non optiques

EN 169: 2002 — Protection individuelle de l'œil — Filtres pour le soudage et les techniques connexes — Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée

EN 170: 2002 — Protection individuelle de l'œil — Filtres pour l'ultraviolet — Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée

EN 171: 2002 — Protection individuelle de l'œil — Filtres pour l'infrarouge — Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée

EN 175: 1997 — Protection individuelle — Équipements de protection des yeux et du visage pour le soudage et les techniques connexes

EN 207: 1998 — Filtres et protecteurs de l'œil contre les rayonnements laser

EN 208: 1998 — Lunettes de protection pour les travaux de réglage sur les lasers et sur les systèmes laser

EN 349: 1993 — Sécurité des machines — Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain

EN 379: 2003 — Filtres de soudage automatique

EN 953: 1997 — Sécurité des machines — Protecteurs — Prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles

EN 1088: 1995 — Dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs

EN 1598: 1997 — Hygiène et sécurité en soudage et techniques connexes — Rideaux, lanières et écrans transparents pour les procédés de soudage à l'arc

EN ISO 11145: 2001 — Optique et instruments d'optique — Lasers et équipements associés aux lasers — Vocabulaire et symboles

EN ISO 11146-1: 2005 — Optique et instruments d'optique — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai des largeurs du faisceau, angles de divergence et facteurs de limite de diffraction — Partie 1: faisceaux stigmatiques et astigmatiques simples

- EN ISO 11146-2: 2005 — Optique et instruments d'optique — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai des largeurs du faisceau, angles de divergence et facteurs de limite de diffraction — Partie 2: faisceaux astigmatiques généraux
- EN ISO 11149: 1997 — Optique et instruments d'optique — Lasers et équipements laser associés — Connecteurs pour fibres optiques pour les applications laser autres que télécommunication
- EN ISO 11151-1: 2000 — Lasers et équipements associés aux lasers — Composants optiques standards — Partie 1: composants pour les plages spectrales UV, visibles et proches de l'infrarouge
- EN ISO 11151-2: 2000 — Lasers et équipements associés aux lasers — Composants optiques standard — Partie 2: composants pour la plage spectrale infrarouge
- EN ISO 11252: 2004 — Lasers et équipements associés aux lasers — Source laser — Exigences minimales pour la documentation
- EN ISO 11254-3: 2006 — Lasers et équipements associés aux lasers. — Détermination du seuil d'endommagement provoqué par laser sur les surfaces optiques — Partie 3: vérification de la capacité à supporter la puissance (l'énergie) laser
- EN ISO 11551: 2003 — Optique et instruments optiques — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthode d'essai du facteur d'absorption des composants optiques pour lasers
- EN ISO 11553-1: 2005 — Sécurité des machines — Machines à laser — Partie 1: prescriptions générales de sécurité
- EN ISO 11553-2: 2007 — Sécurité des machines — Machines à laser — Partie 2: exigences de sécurité pour dispositifs de traitement laser portatifs
- EN ISO 11554: 2006 — Optique et photonique — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai de la puissance et de l'énergie des faisceaux laser et de leurs caractéristiques temporelles
- EN ISO 11670: 2003 — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai des paramètres des faisceaux laser — Stabilité de visée du faisceau
- EN ISO 11810-1: 2005 — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthode d'essai et classification de la résistance au laser pour des draps chirurgicaux et/ou des couvertures de protection des patients — Partie 1: allumage primaire et pénétration
- EN ISO 11810-2: 2007 — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthode d'essai et classification de la résistance au laser pour des draps chirurgicaux et/ou des couvertures de protection des patients — Partie 2: allumage secondaire
- EN ISO 11990: 2003 — Optique et instruments d'optique — Lasers et équipements associés aux lasers — Détermination de la résistance au laser des gaines de tubes trachéaux
- EN ISO 12005: 2003 — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai des paramètres du faisceau laser — Polarisation
- EN ISO 12100-1: 2003 — Sécurité des machines — Notions fondamentales, principes généraux de la conception — Partie 1: terminologie de base, méthodologie
- EN ISO 12100-2: 2003 — Sécurité des machines — Notions fondamentales, principes généraux de la conception — Partie 2: principes techniques
- EN 12254: 1998 — Écrans pour postes de travail au laser — Exigences et essais de sécurité
- EN ISO 13694: 2001 — Optique et instruments optiques — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai de distribution de la densité de puissance (d'énergie) du faisceau laser
- EN ISO 13695: 2004 — Optique et photonique — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai des caractéristiques spectrales des lasers
- EN ISO 13697: 2006 — Optique et photonique — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai du facteur de réflexion et du facteur de transmission des composants optiques laser

EN 13857: 2008 — Sécurité des machines — Distance de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses

EN ISO 14121-1: 2007 — Sécurité des machines — Appréciation du risque — Partie 1: principes

EN 14255-1: 2005 — Mesurage et évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents — Partie 1: rayonnements UV émis par des sources artificielles sur les lieux de travail

EN 14255-2: 2005 — Mesurage et évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents — Partie 2: rayonnements visibles et infrarouges émis par des sources artificielles sur les lieux de travail

EN 14255-4: 2006 — Mesurage et évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents — Partie 4: terminologie et grandeurs utilisées pour le mesurage de l'exposition au rayonnement ultraviolet, visible et infrarouge

EN ISO 14408: 2005 — Tubes trachéaux destinés aux opérations laser — Exigences relatives au marquage et aux informations d'accompagnement

EN ISO 15367-1: 2003 — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai pour la détermination de la forme du front d'onde du faisceau laser — Partie 1: terminologie et aspects fondamentaux

EN ISO 15367-2: 2005 — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai pour la détermination de la forme du front d'onde du faisceau laser — Partie 2: senseurs Shack-Hartmann

EN ISO 17526: 2003 — Optique et instruments optiques — Lasers et équipements associés aux lasers — Durée de vie des lasers

EN ISO 22827-1: 2005 — Essais de réception par les machines de soudage par faisceau laser Nd: YAG — Machines avec transport par fibre optique — Partie 1: ensemble laser

EN ISO 22827-2: 2005 — Essais de réception par les machines de soudage par faisceau laser Nd: YAG — Machines avec transport par fibre optique — Partie 2: mécanisme mobile

EN 60601-2-22: 1996 — Appareils électromédicaux — Partie 2: règles particulières pour la sécurité et les performances essentielles des appareils chirurgicaux, thérapeutiques et de diagnostic à laser

EN 60825-1: 2007 — Sécurité des appareils à laser — Partie 1: classification des matériels et prescriptions

EN 60825-2: 2004 — Sécurité des appareils à laser — Partie 2: sécurité des systèmes de télécommunications par fibres optiques

EN 60825-4: 2006 — Sécurité des appareils à laser — Partie 4: barrières laser

EN 60825-12: 2004 — Sécurité des appareils à lasers — Partie 12: sécurité des systèmes de communications optiques en espace libre utilisés pour la transmission d'informations

EN 61040: 1993 — Détecteurs, instruments et matériels de mesurage de puissance et d'énergie des rayonnements laser

G.2. Recommandations

CLC/TR 50488: 2005 — Guide sur les niveaux de compétence nécessaires pour assurer la sécurité lors de l'utilisation de lasers

G.3. Documents ISO, IEC et CIE

ISO/TR 11146-3: 2004 — Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai des largeurs du faisceau, angles de divergence et facteurs de limite de diffraction — Classification intrinsèque et géométrique des faisceaux laser, diffraction et méthodes d'essai détaillées

ISO TR 11991: 1995 — Guide des soins des voies respiratoires lors de la chirurgie au laser des tubes trachéaux

- ISO/TR 22588: 2005 — Optique et photonique — Lasers et équipements associés aux lasers — Mesurage et évaluation des effets secondaires de l'absorption dans les composants optiques lasers
- IEC/TR 60825-3: 2008 — Sécurité des appareils à lasers — Partie 3: guide concernant les spectacles et shows laser
- IEC TR 60825-5: 2003 — Sécurité des appareils à lasers — Partie 5: liste de contrôle du fabricant conforme à la norme CEI 60825-1
- IEC/TR 60825-8: 2006 — Sécurité des appareils à laser — Partie 8: lignes directrices sur l'utilisation sûre des faisceaux laser sur les personnes humaines
- IEC/TR 60825-13: 2006 — Sécurité des appareils à laser — Partie 13: mesurage pour la classification des appareils à laser
- IEC TR 60825-14: 2004 S — Sécurité des appareils à lasers — Partie 14: guide de l'utilisateur
- IEC 62471: 2006 — Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes
- CIE S 004-2001 — Couleurs des signaux optiques
- ISO 16508/CIE S006.1/E-1999: norme commune ISO/CIE — Feux de circulation — Propriétés photométriques des feux de circulation avec un diamètre de 200 mm
- ISO 17166/CIE S007/E-1999: norme commune ISO/CIE — Spectre d'action érythémale de référence et dose érythémale normalisée
- ISO 8995-1: 2002(E)/CIE S 008/E: 2001: norme commune ISO/CIE — Éclairage des systèmes de travail — Partie 1: éclairage des lieux de travail intérieurs [y compris corrigendum technique ISO 8995:2002/Cor. 1:2005(E)]
- CIE S 009/D: 2002 — Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes
- ISO 23539: 2005(E)/CIE S 010/E: 2004: norme commune ISO/CIE — Photométrie — Le système CIE de photométrie physique
- ISO 23603: 2005(E)/CIE S 012/E: 2004: norme commune ISO/CIE — Méthode normalisée de l'évaluation de la qualité spectrale des simulateurs de lumière de jour pour l'estimation visuelle et le mesurage des couleurs
- CIE S 015: 2005 — Éclairage des lieux de travail à l'extérieur
- ISO 8995-3: 2006(E)/CIE S 016/E: 2005: norme commune ISO/CIE — Éclairage des lieux de travail — Partie 3: normes d'éclairage requises pour la sécurité des lieux de travail à l'extérieur
- ISO 28077: 2006(E)/CIE S 019/E: 2006: norme commune ISO/CIE — Spectre d'action photocarcinogène (cancers de la peau sans présence de mélanome)
- ISO 30061: 2007(E)/CIE S 020/E: 2007 — Éclairage de secours

Annexe H. Photosensibilité

H.1. Qu'est-ce que la photosensibilité?

Les réactions chimiques provoquées par les rayons visibles ou ultraviolets (UV) sont des processus naturels et essentiels à la survie des organismes vivants. On parle aussi de réactions photochimiques: pour que la réaction se produise, l'énergie doit d'abord être absorbée par une molécule ou par une cellule vivante portée alors à un état d'excitation.

En temps normal, l'effet net sera positif, et le corps — en l'occurrence la peau — ne subira aucun dommage.

Cependant, l'absorption, l'ingestion ou l'inhalation de substances particulières peut induire de forts effets amplificateurs et provoquer de réels dommages similaires à un coup de soleil aigu de plusieurs ordres de grandeur. Ces substances sont couramment appelées «substances photosensibilisantes».

Parfois, des effets nocifs (tels que coups de soleil, ampoules, démangeaisons) apparaissent presque immédiatement.

Les conséquences à long terme d'expositions répétées alors qu'on est en contact avec des agents photosensibilisants peuvent, dans certains cas, accroître le risque d'évolution vers des maladies chroniques (par exemple, vieillissement cutané accéléré ou cancer de la peau).

La plupart des photosensibilisants absorbent les rayons de la gamme UVA et, dans une moindre mesure, de la gamme UVB ou du spectre visible. Ils se trouvent partout dans votre environnement, dans votre vie quotidienne: médicaments spécifiques tels que régulateurs cardiaques ou hypotenseurs, substances présentes dans les légumes, substances de protection du bois telles que le carbonileum, plantes de jardin, parfums et cosmétiques; dans votre environnement professionnel: substances colorantes, pesticides, encres d'imprimerie, additifs pour les aliments des animaux; dans un environnement médical: luminothérapie, substances antibactériennes, calmants, diurétiques, traitements anti-infectieux.

Ces énumérations ne sont pas exhaustives. De plus, les photosensibilisants utilisés dans la vie de tous les jours ou d'origine médicale peuvent indiscutablement avoir une incidence sur votre sensibilité à l'exposition professionnelle.

Les effets nocifs dépendent du type et de la quantité de substance photosensibilisante absorbée/ingérée/inhalée, de l'intensité et de la durée de l'exposition et du patrimoine génétique (par exemple, type de peau) de chaque individu.

H.2. Les aspects liés ou non au travail

Comme vous le voyez, les effets nocifs de l'exposition aux rayons ultraviolets ou visibles en présence d'agents photosensibilisants peuvent affecter n'importe qui et résulter d'activités professionnelles ou non professionnelles.

Par ailleurs, le principal contributeur est le rayonnement naturel produit par le soleil.

Vu que les effets nocifs liés à l'exposition au rayonnement naturel ne relèvent pas du champ d'application de la directive, il n'en est fait mention que pour information et seulement dans la mesure où le rayonnement naturel est concerné.

H.3. Que devez-vous faire en tant qu'employeur?

La directive impose à l'employeur de procéder à une évaluation des risques tenant compte des dangers et des risques liés à l'exposition aux rayonnements optiques artificiels.

Parmi les obligations de l'employeur figure celle d'informer le personnel de tout risque potentiel. Attirer l'attention sur les dangers et les risques potentiels liés aux agents photosensibilisants est une obligation essentielle.

H.4. Que faire si votre travail implique une exposition combinée à des sources de rayonnements optiques artificiels et à des substances photosensibilisantes?

Lorsque l'employeur procède à une évaluation des risques, il ne peut être au courant de toutes les situations particulières: par exemple, travailleur suivant un traitement médical avec des médicaments «photosensibilisants», utilisant des produits «photosensibilisants» pour la réfection de sa maison, ou utilisant des substances chimiques en se livrant à son passe-temps favori (peintures, encres, colle, etc.).

Si vous commencez un traitement médical avec des médicaments spécifiques mais «photosensibilisants», le

médecin vous avertit en principe des effets secondaires potentiels d'une exposition à la lumière du soleil. Celle-ci est parfois carrément proscrite. Dans une telle situation, il est aussi conseillé d'éviter l'exposition à la lumière artificielle (et naturelle) ou aux sources d'UV. Lisez toujours l'étiquette! Il vous est vivement recommandé d'informer votre employeur vous-même ou par les voies ou procédures en vigueur dans votre pays.

Si vous observez un effet secondaire cutané, consultez immédiatement un médecin. Si vous soupçonnez une origine professionnelle, indiquez-le au médecin. Si une cause professionnelle peut être soupçonnée, il vous est encore une fois vivement recommandé d'informer votre employeur vous-même ou de le faire par les voies ou procédures en vigueur dans votre pays. C'est alors seulement que des adaptations appropriées à vos conditions de travail seront possibles.

Annexe I. Ressources

I.1. Internet

Les listes suivantes ne sont pas exhaustives; leur inclusion dans ce document ne signifie pas l'approbation ou la recommandation du contenu de ces sites externes.

I.2. Organisations consultatives et/ou statutaires

États membres de l'Union européenne

Pays	Organisation	Site internet
Autriche	AUVA	www.auva.at
Belgique	Institut pour la prévention, la protection et le bien-être au travail	www.prevent.be/net/net01.nsf
Chypre	Ημερίδα με θέμα: Ασφαλής Πρόσδεση Φορτίων	www.cyssha.org.cy
République tchèque	Institut national de la santé publique de la République tchèque Centrum bezpečnosti práce a požární ochrany	www.czu.cz www.civop.cz
Danemark	Organisme danois de l'environnement du travail	www.at.dk
Estonie	Tööinspektsioon	www.ti.ee
Finlande	Työterveyslaitos	www.occuphealth.fi
France	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail	www.afsset.fr
Allemagne	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Berufsgenossenschaft Elektro Textil Feinmechanik	www.baua.de www.bgetf.de
Grèce	Institut hellénique de la santé et de la sécurité au travail	www.elinyae.gr
Hongrie	Fondation publique de recherche sur la sécurité au travail	www.mkk.org.hu
Irlande	Organisme de la santé et de la sécurité	www.HSA.ie
Italie	Institut national pour la prévention et la sécurité au travail	www.ispesl.it
Lettonie	Institut de la santé environnementale et au travail	home.parks.lv/ioeh
Luxembourg	Inspection du travail et des mines	www.itm.lu/itm
Malte	Organisme de la santé et de la sécurité au travail	www.ohsa.org.mt
Pays-Bas	Travail et emploi TNO	www.arbeid.tno.nl
Pologne	Institut central pour la protection au travail	http://www.ciop.pl
Portugal	Autoridade para as Condições do Trabalho	www.act.gov.pt
Roumanie	Institut de santé publique	www.pub-health-iasi.ro
Slovaquie	Organisme de santé publique de la Slovaquie	www.uvzsr.sk
Slovénie	Ministère du travail, de la famille et des affaires sociales	www.mddsz.gov.si
Espagne	Institut national pour la sécurité et l'hygiène au travail Association pour la prévention des accidents	www.mtin.es/insht www.apa.es
Suède	Agence suédoise de protection contre les rayonnements	www.ssi.se
Royaume-Uni	Agence pour la protection de la santé Corps exécutif pour la santé et la sécurité	www.hpa.org.uk www.hse.gov.uk

Organisations européennes/internationales

Organisation	Site internet
Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants	www.CIPRNI.de
Commission internationale sur l'illumination	www.cie.co.at
Organisation mondiale de la santé	www.who.int
Conférence américaine des hygiénistes industriels gouvernementaux	www.acgih.org
Confédération syndicale européenne	www.etuc.org hesa.etui-rehs.org
Alliance européenne pour la santé publique	www.epha.org/r/64
Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail	osha.europa.eu/
Commission internationale pour la santé au travail	www.icohweb.org

Reste du monde

Pays	Organisation	Site internet
États-Unis	Centre US FDA pour les dispositifs et l'hygiène radiologiques	www.fda.gov/cdrh/
États-Unis	Données de base des accidents médicaux de l'US FDA	www.accessdata.fda.gov
États-Unis	Centre des forces armées américaines pour la promotion de la santé et de la médecine de prévention, programme concernant les rayonnements optiques/laser	chppm-www.apgea.army.mil/laser/laser.html
Australie	Agence australienne pour la sécurité nucléaire et la protection contre les rayonnements	www.arpansa.gov.au

I.3. Normes

Organisation	Site internet
Commission internationale électrotechnique (IEC)	www.iec.ch
Comité européen pour la normalisation électrotechnique (Cenelec)	www.cenelec.eu
Comité européen pour la normalisation	www.cen.eu
Organisation internationale pour la normalisation	www.iso.org
Institut national américain de normalisation	www.ansi.org
Normes américaines de sécurité des lasers	www.z136.org

I.4. Associations/annuaires internet

Organisation	Site internet
Société européenne de l'optique	www.myeos.org
SPIE	www.spie.org
Optical Society of America/Société américaine de l'optique	www.osa.org
Laser Institute of America/Institut laser d'Amérique	www.laserinstitute.org
Association of Laser Users/Association des utilisateurs de lasers	www.ailu.org.uk
Institut de physique	www.iop.org
Institute of Physics and Engineering in Medicine/Institut de physique et de technologie médicales	www.ipem.org.uk
British Medical Laser Association/Association britannique des lasers médicaux	www.bmla.co.uk
Association européenne principale des fabricants de panneaux radiants lumineux à gaz (ELVHIS)	www.elvhis.com

1.5. Journaux

www.optics.org

Opto & Laser Europe

www.health-physics.com

Journal Health Physics

www.oxfordjournals.org/our_journals/rpd/about.html

Recherche d'extraits de publications sur les lasers et la dosimétrie de protection contre les rayonnements

fw.pennnet.com/home.cfm

Laser Focus World, mensuel américain sur l'optique

www.photonics.com

Journaux *Photonics Spectra*, *EuroPhotonics* et *BioPhotonics*

scitation.aip.org/jla/

Journal of Laser Applications

www.springerlink.com/content/1435-604X/

Journal Lasers in Medical Science

fibers.org/fibresystems/schedule/fse.cfm

Journal Fibre Systems Europe

www.laserist.org/Laserist/

La revue *The Laserist* de l'Association internationale du spectacle laser

www.ledsmagazine.com

E-magazine traitant des applications LED

www.ils-digital.com

Revue *Industrial Laser Solutions*

www.rp-photonics.com/encyclopedia.html

Encyclopédie en ligne traitant de sujets concernant les appareils laser et optiques

1.6. CD, DVD et autres matériels

Matériel	Fournisseur	Commentaires
CD sur les limites	Centres de recherche autrichiens	Programme de formation interactif (en anglais et en allemand) sur la sécurité du laser dans l'industrie et la recherche. Le CD comprend une vidéo de 30 mn illustrant les 9 chapitres du CD. Les chapitres peuvent être consultés indépendamment de la vidéo. Comprend un test (choix multiples) et un glossaire.
DVD LIA — Maîtriser la lumière — Sécurité du laser	LIA	Traite des applications, types de lasers, risques associés aux lasers, mesures de prévention, panneaux et étiquettes, stockage des équipements de protection des yeux, etc. Comprend des informations sur l'ancienne classification laser.
DVD sur la sécurité laser dans l'éducation tertiaire	Université de Southampton	Traite des rayonnements laser, du corps, des mesures de sécurité, des filtres gris, etc. Comprend des informations sur l'ancienne classification laser.
Pratiques optimales relatives à la sécurité laser de LIA — CLSO sur CD	LIA	Livre + CD. Le CD comprend des présentations PowerPoint des chapitres 5.2.1.1 et 5.2.1.3. Le livre forme un outil de développement des programmes de sécurité laser.
CD sur la prévention des risques au travail	INSHT	Cours de formation avancée pour la performance de fonctions de niveau supérieur. Version 2.
Guide de sécurité laser	Laservision	Livret (en anglais et en allemand). Traite principalement des équipements de protection pour les yeux et des filtres.
Laser-Augenschutz Filter-Select	BGETF	Base de données Access interactive sur les équipements de protection pour les yeux.

Annexe J. Glossaire

Distance de risque

Distance minimale à laquelle la luminance/l'éclairement énergétique se trouve en dessous de la valeur limite d'exposition appropriée (VLE)

Distance nominale de risque cutané

Distance à laquelle l'éclairement énergétique dépasse la limite d'exposition pour la peau applicable pour une période d'exposition de 8 heures

Unité: m

Distance nominale de risque oculaire (DNRO)

Distance à laquelle l'exposition à l'éclairement ou à la luminance énergétique du faisceau est égale à la valeur limite d'exposition pertinente pour l'œil

Éclairement (E_v)

(à un point d'une surface)

Quotient du flux lumineux dΦ_v sur un élément de la surface comprenant le point, par la surface dA de cet élément

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA}$$

Unité: lux (lx)

Éclairement énergétique

(à un point d'une surface)

Quotient du flux énergétique dΦ sur un élément d'une surface comprenant le point, par la surface dA de cet élément, c'est-à-dire:

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

Unité SI: W m⁻²

Exposition énergétique

Quotient d'énergie rayonnante dQ incidente sur un élément de la surface comprenant le point sur une durée donnée par la surface dA de cet élément

$$H = \frac{dQ}{dA}$$

Ou l'intégrale de l'éclairement énergétique E à un point donné sur une durée donnée Δt

$$H = \int_{\Delta t} E \cdot dt$$

Unité SI: J m⁻²

Limite d'exposition (VLE)

Niveau maximal d'exposition de l'œil ou de la peau sans effets biologiques nocifs

Luminance

Quantité définie par la formule

$$L_v = \frac{d\Phi_v}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega}$$

où:

dΦ_v est le flux lumineux transmis par un faisceau élémentaire à travers le point donné et dispersé dans l'angle solide dΩ comprenant la direction donnée;

dA représente la surface d'une section de ce faisceau comprenant le point donné;

θ représente l'angle entre la normale de cette section et la direction du faisceau

Symbole: L_v

Unité: cd m⁻²

Luminance énergétique

(dans une direction donnée à un point donné d'une surface réelle ou fictive)

Quantité définie par la formule

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

où:

$d\Phi$ représente le flux énergétique transmis par un faisceau élémentaire à travers le point donné et dispersé dans l'angle solide $d\Omega$ comprenant la direction donnée;

dA représente la surface d'une section de ce faisceau englobant le point

donné; θ représente l'angle entre la normale de cette section et la direction du faisceau

Symbole: L

Unité SI: $W m^{-2} sr^{-1}$

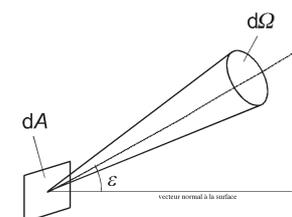


Schéma de la définition de la luminance énergétique

Pondération spectrale (lumière bleue)

Pondération spectrale qui exprime les effets photochimiques des rayonnements ultraviolets et de la gamme visible sur la rétine

Symbole: $B(\lambda)$

Unité SI: sans dimension

Pondération spectrale (ultraviolets)

Pondération spectrale exprimée afin d'assurer la protection de la santé et indique les effets aigus mixtes des rayonnements ultraviolets sur les yeux et la peau

Pondération spectrale de la luminance efficace (lésion par effet thermique)

Pondération spectrale exprimant les effets thermiques des rayonnements visibles et infrarouges sur la rétine

Symbole: $R(\lambda)$

Unité SI: sans dimension

Rayonnements incohérents

Tout rayonnement optique autre que les rayonnements laser

Rayonnements infrarouges (IR)

Rayonnements optiques dont les longueurs d'onde sont supérieures aux rayonnements visibles

Les rayonnements infrarouges, dans la gamme de 780 nm et 106 nm, sont couramment sous-divisés comme suit:

IRA (de 780 nm à 1 400 nm)

IRB (de 1 400 nm à 3 000 nm)

IRC (de 3 000 nm à 10^6 nm)

Rayonnements optiques

Rayonnements électromagnétiques aux longueurs d'onde situées dans la région de transition en rayons X (longueur d'onde approximative de 1 nm) et la région de transition vers les ondes radio (longueur d'onde approximative de 10^6 nm)

Rayonnements ultraviolets (UV)

Rayonnements optiques dont les longueurs d'onde sont plus courtes que les longueurs d'onde des rayonnements visibles.

La gamme des rayonnements ultraviolets de 100 nm et 400 nm est couramment sous-divisée comme suit:

UVA, de 315 nm à 400 nm,

UVB, de 280 nm à 315 nm,

UVC, de 100 nm à 280 nm.

Les rayonnements UV de la gamme de longueur d'onde inférieure à 180 nm (UV extrêmes) sont fortement absorbés par l'oxygène de l'air.

Rayonnements visibles

Tout rayonnement optique capable de provoquer directement une sensation visuelle.

Note: Il n'existe aucune limite précise en ce qui concerne la gamme spectrale des rayonnements visibles car ils dépendent de la quantité de flux énergétique atteignant la rétine et de la sensibilité de l'observateur. La limite inférieure se situe en général entre 360 nm et 400 nm, la limite supérieure entre 760 nm et 830 nm.

Réflexe de protection, réactions volontaires ou involontaires

Fermeture de la paupière, mouvement de l'œil, réflexe photomoteur, ou mouvement de la tête afin d'éviter une exposition aux rayonnements optiques

Région du spectre de risque de lésion rétinienne

Région du spectre entre 380 nm et 1 400 nm (visibles et IRA) au sein de laquelle le milieu oculaire transmet les rayonnements optiques à la rétine

Risque associé à la lumière bleue

Lésion photochimique de la rétine provoquée par l'exposition aux rayonnements optiques d'une longueur d'onde entre 300 nm et 700 nm

Risque de lésion thermique

Lésion potentielle de l'œil suite à une exposition aux rayonnements optiques de la gamme des longueurs d'onde 380-1 400 nm

Risques associés aux ultraviolets

Effets nocifs chroniques et aigus potentiels sur la peau et le milieu oculaire suite à une exposition aux rayonnements de longueur d'onde entre 180 nm et 400 nm

Annexe K. Bibliographie

K.1. Histoire des lasers

How the Laser Happened — Adventures of a Scientist. Charles H. Townes. Oxford University Press, 1999 (*Les origines du laser — Les aventures d'un homme de science*)

The Laser Odyssey. Theodore Maiman. Laser Press, 2000 (*L'Odyssée du laser*)

The History of the Laser. M. Bertolotti. Institute of Physics Publishing, 2005 (*L'histoire du laser*)

Beam: The Race to Make the Laser. Jeff Hecht. Oxford University Press, 2005 (*Faisceau: la course au laser*)

Laser: The Inventor, the Nobel Laureate, and the Thirty-Year Patent War. Nick Taylor. iUniverse.com, 2007 (*Laser: l'inventeur, le lauréat du prix Nobel et la guerre du brevet d'invention de trente ans*)

K.2. Lasers médicaux

Medical Lasers and their Safe Use. D. Sliney et S. Trokel. Springer-Verlag, New York, 1993 (*Les lasers médicaux et leur utilisation en toute sécurité*)

Laser-Tissue Interactions — Fundamentals and Applications. Markolf H. Niemz. Springer, 2004 (*Interactions laser-tissus — Principes fondamentaux et applications*)

K.3. Sécurité relative aux lasers et aux rayonnements optiques

Safety with Lasers and Other Optical Sources. D. Sliney et M. Wolbarsht. Plenum, New York, 1980 (*Sécurité relative aux lasers et aux autres sources optiques*)

Practical Laser Safety. D. C. Winburn. Marcel Dekker Inc., New York, 1985 (*Sécurité pratique relative aux lasers*)

The Use of Lasers in the Workplace: A Practical Guide. International Labour Office, Geneva, 1993 (*L'utilisation des lasers sur les lieux de travail: guide pratique. Bureau du travail international, Genève*)

Laser Safety. Roy Henderson et Karl Schulmeister. Institute of Physics Publishing, 2003 (*La sécurité et les lasers*)

Laser Safety Management. Ken Barat. CRC Press/Taylor & Francis, 2006 (*Gérer la sécurité des lasers*)

Schutz vor optischer Strahlung. Ernst Sutter. VDE Verlag GmbH, 2002

K.4. Technologie et théorie du laser

Introduction to Laser Technology. Breck Hitz, J. J. Ewing et Jeff Hecht. IEEE Press, 2001 (*Introduction à la technologie laser*)

Handbook of Laser Technology and Applications (Guide de la technologie et des applications laser)

- Volume 1: Principles (Principes)
- Volume 2: Laser Design and Laser Systems (Conception des lasers et systèmes laser)
- Volume 3: Applications (Applications)

Colin Webb et Julian Jones, Editors. Institute of Physics Publishing, 2004

Principles of Lasers and Optics. William S. C. Chang. Cambridge University Press, 2005 (*Principes des lasers et de l'optique*)

Field Guide to Lasers. Rüdiger Paschotta. SPIE Press, 2008 (*Guide pratique des lasers*)

K.5. Recommandations et comptes rendus

Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). *Health Physics* 87 (2): 171-186; 2004 (*Lignes directrices sur les expositions aux rayonnements ultraviolets de longueurs d'onde situées entre 180 nm et 400 nm — rayonnements optiques incohérents*)

Revision of the Guidelines on Limits of Exposure to Laser radiation of wavelengths between 400nm and 1,4 µm. *Health Physics* 79 (4): 431-440; 2000 (*Révision des lignes directrices sur les expositions aux rayonnements laser de longueurs d'onde entre 400 nm et 1,4 µm*)

Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0,38 to 3 µm). *Health Physics* 73 (3): 539-554; 1997 [*Lignes directrices sur les limites d'exposition aux rayonnements optiques incohérents large bande (0,38 à 3 µm)*]

Guidelines on UV Radiation Exposure Limits. *Health Physics* 71 (6): 978; 1996 [*Lignes directrices sur les limites d'exposition aux rayonnements UV*]

Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1 mm. *Health Physics* 71 (5): 804-819; 1996 (*Lignes directrices sur les limites d'exposition aux rayonnements laser de longueurs d'onde situées entre 180 nm et 1 mm*)

Proposed Change to the IRPA 1985 Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation. *Health Physics* 56 (6): 971-972; 1989 (*Modification proposée des lignes directrices du IRPA de 1985 sur les limites d'exposition aux rayonnements ultraviolets*)

Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths between 180 nm and 400nm (Incoherent Optical Radiation). *Health Physics* 49 (2): 331-340; 1985 (*Lignes directrices sur les limites d'exposition aux rayonnements ultraviolets de longueurs d'onde situées entre 180 nm et 400 nm*)

ICNIRP Statement on Far Infrared Radiation Exposure. *Health Physics* 91(6) 630-645; 2006 (*Rapport CIPRNI sur l'exposition aux rayonnements infrarouges lointains*)

Adjustment of guidelines for exposure of the eye to optical radiation from ocular instruments: statement from a task group of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Sliney D., Aron-Rosa D., DeLori F., Fankhouser F., Landry R., Mainster M., Marshall J., Rassow B., Stuck B., Trokel S., West T. et Wolfe M. *Applied Optics* 44 (11): 2162-2176; 2005 (*Modification des lignes directrices sur l'exposition de l'œil aux rayonnements optiques émis par les instruments oculaires: rapport d'un groupe de travail de la Commission internationale sur la protection contre les rayonnements non ionisants*)

Health Issues of Ultraviolet Tanning Appliances used for Cosmetic Purposes. *Health Physics* 84 (1): 119-127; 2004 (*Problèmes sanitaires des appareils de bronzage aux ultraviolets utilisés à des fins cosmétiques*)

Light-Emitting Diodes (LEDS) and Laser Diodes: Implications for Hazard Assessment. *Health Physics* 78 (6): 744-752; 2000 (*Diodes électroluminescentes et diodes laser: prescriptions relatives aux évaluations des risques*)

Laser Pointers. *Health Physics* 77 (2): 218-220; 1999 (*Poin-teurs laser*)

Health Issues of Ultraviolet «A» Sunbeds Used for Cosmetic Purposes. *Health Physics* 61 (2): 285-288; 1991 (*Problèmes sanitaires des lits de bronzage à ultraviolets de classe A utilisés dans le domaine cosmétique*)

Fluorescent Lighting and Malignant Melanoma. *Health Physics* 58 (1): 111-112; 1990 (*Éclairage fluorescent et méla-nome malin*)

UV exposure guidance: a balanced approach between health risks and health benefits of UV and Vitamin D. Proceedings of an International Workshop. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, Vol 92, Number 1; September 2006 — ISSN 0079-6107 (*Conseils sur l'exposi-tion UV: Optique équilibrée entre les risques sanitaires et les bienfaits des UV et de la vitamine D*)

Ultraviolet Radiation Exposure, Measurement and Protec-tion. Proceedings of an International Workshop, NRPB, Chilton, UK, 18-20 October, 1999. A. F. McKinlay, M. H. Repacholi (eds.) Nuclear Technology Publishing, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol 91, 1-3, 1999. ISBN 1870965655. (*Exposition aux rayonnements ultraviolets, mesurage et protection*)

Measurements of Optical Radiation Hazards. A reference book based on presentations given by health and safety experts on optical radiation hazards, Gaithersburg, Maryland, USA, 1-3 septembre, 1998. Munich: CIPRNI/CIE-Publications; 1999. ISBN 978-3-9804789-5-3 (Mesures des risques associés aux rayonnements optiques)

Protecting Workers from UV Radiation. Munich: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, International Labour Organization, World Health Organization; 2007. ISBN 978-3-934994-07-2 (*Protection des travailleurs contre les rayonnements UV*)

Documents of the NRPB: Volume 13, No. 1, 2002. Health Effects from Ultraviolet Radiation: Report of an Advisory Group on Non-Ionising Radiation. Health Protection Agency. ISBN 0-85951-475-7 (*Effets sanitaires des rayonnements ultraviolets: compte rendu d'un groupe de conseil sur les rayonnements non ionisants*)

Documents of the NRPB: Volume 13, No. 3, 2002. Advice on Protection Against Ultraviolet Radiation. Health Protection Agency. ISBN 0-85951-498-6 (*Avis sur la protection contre les rayonnements ultraviolets*)

Annexe L. Directive 2006/25/CE

L 114/38

FR

Journal officiel de l'Union européenne

27.4.2006

DIRECTIVE 2006/25/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL

du 5 avril 2006

relative aux prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (rayonnements optiques artificiels) (dix-neuvième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE)

LE PARLEMENT EUROPÉEN ET LE CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE,

vu le traité instituant la Communauté européenne, et notamment son article 137, paragraphe 2,

vu la proposition de la Commission ⁽¹⁾, présentée après consultation du comité consultatif pour la sécurité et la santé sur le lieu de travail,

vu l'avis du Comité économique et social européen ⁽²⁾,

après consultation du Comité des régions,

statuant conformément à la procédure visée à l'article 251 du traité ⁽³⁾, au vu du projet commun approuvé par le comité de conciliation le 31 janvier 2006,

considérant ce qui suit:

(1) Selon le traité, le Conseil peut arrêter, par voie de directives, des prescriptions minimales afin de promouvoir l'amélioration, en particulier, du milieu de travail, pour garantir un meilleur niveau de protection de la santé et de la sécurité des travailleurs. Ces directives doivent éviter d'imposer des contraintes administratives, financières et juridiques telles qu'elles contrarieraient la création et le développement de petites et moyennes entreprises (PME).

⁽¹⁾ JO C 77 du 18.3.1993, p. 12 et JO C 230 du 19.8.1994, p. 3.

⁽²⁾ JO C 249 du 13.9.1993, p. 28.

⁽³⁾ Avis du Parlement européen du 20 avril 1994 (JO C 128 du 9.5.1994, p. 146), confirmé le 16 septembre 1999 (JO C 54 du 25.2.2000, p. 75), position commune du Conseil du 18 avril 2005 (JO C 172 E du 12.7.2005, p. 26) et position du Parlement européen du 16 novembre 2005 (non encore parue au Journal officiel). Résolution législative du Parlement européen du 14 février 2006 (non encore parue au Journal officiel) et décision du Conseil du 23 février 2006.

(2) La communication de la Commission sur son programme d'action relatif à la mise en œuvre de la charte communautaire des droits sociaux fondamentaux des travailleurs prévoit l'établissement de prescriptions minimales de santé et de sécurité relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus à des agents physiques. En septembre 1990, le Parlement européen a adopté une résolution sur ce programme d'action ⁽⁴⁾, qui invitait notamment la Commission à élaborer une directive spécifique dans le domaine des risques liés au bruit et aux vibrations ainsi qu'à tout autre agent physique sur le lieu de travail.

(3) Dans un premier temps, le Parlement européen et le Conseil ont adopté la directive 2002/44/CE du 25 juin 2002 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (vibrations) (seizième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE) ⁽⁵⁾. Ensuite, le Parlement européen et le Conseil ont adopté, le 6 février 2003, la directive 2003/10/CE concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit) (dix-septième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE) ⁽⁶⁾. Par la suite, le Parlement européen et le Conseil ont adopté, le 29 avril 2004, la directive 2004/40/CE concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques) (dix-huitième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE) ⁽⁷⁾.

(4) Il est actuellement nécessaire d'introduire des mesures protégeant les travailleurs des risques liés aux rayonnements optiques en raison de leurs incidences sur la santé et la sécurité des travailleurs, et notamment des atteintes aux yeux et à la peau qu'ils provoquent. Ces mesures visent non seulement à protéger la santé et la sécurité de chaque travailleur pris isolément, mais également à créer pour l'ensemble des travailleurs de la Communauté un socle minimal de protection afin d'éviter des distorsions éventuelles de la concurrence.

(5) L'un des objectifs de la présente directive est la détection en temps utile des effets nocifs sur la santé résultant de l'exposition aux rayonnements optiques.

⁽⁴⁾ JO C 260 du 15.10.1990, p. 167.

⁽⁵⁾ JO L 177 du 6.7.2002, p. 13.

⁽⁶⁾ JO L 42 du 15.2.2003, p. 38.

⁽⁷⁾ JO L 159 du 30.4.2004, p. 1, rectifié par JO L 184 du 24.5.2004, p. 1.

- (6) La présente directive établit des prescriptions minimales; elle laisse donc aux États membres la possibilité de maintenir ou d'adopter des dispositions plus strictes en faveur de la protection des travailleurs, notamment en fixant des valeurs limites d'exposition plus basses. La mise en œuvre de la présente directive ne doit pas servir à justifier une détérioration de la situation prévalant dans chaque État membre.
- (7) Un système de protection contre les dangers des rayonnements optiques devrait se borner à définir, sans détail inutile, les objectifs à atteindre, les principes à respecter et les valeurs de base à utiliser afin de permettre aux États membres d'appliquer les prescriptions minimales de façon équivalente.
- (8) Le niveau d'exposition aux rayonnements optiques peut être plus efficacement réduit par l'introduction de mesures préventives dès le stade de la conception des postes de travail, ainsi qu'en donnant la priorité, lors du choix des équipements, procédés et méthodes de travail, à la réduction des risques à la source. Des dispositions sur les équipements et les méthodes de travail contribuent dès lors à la protection des travailleurs qui les utilisent. Conformément aux principes généraux de prévention édictés à l'article 6, paragraphe 2, de la directive 89/391/CEE du Conseil du 12 juin 1989 concernant la mise en œuvre de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleurs au travail ⁽¹⁾, les mesures de protection collective sont prioritaires par rapport aux mesures de protection individuelle.
- (9) Il importe que les employeurs s'adaptent aux progrès techniques et aux connaissances scientifiques en matière de risques liés à l'exposition aux rayonnements optiques, en vue d'améliorer la sécurité et la protection de la santé des travailleurs.
- (10) La présente directive étant une directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE, cette dernière s'applique à l'exposition des travailleurs aux rayonnements optiques, sans préjudice des dispositions plus contraignantes et/ou plus spécifiques contenues dans la présente directive.
- (11) La présente directive constitue une étape concrète en vue de la création de la dimension sociale du marché intérieur.
- (12) Une approche complémentaire pour promouvoir les principes d'amélioration de la réglementation et pour assurer un niveau élevé de protection peut être réalisée au cas où les produits fabriqués par les fabricants de sources de rayonnement optique et d'équipements associés sont conformes aux normes harmonisées conçues pour protéger la santé et la sécurité des utilisateurs contre les risques inhérents à ces produits; en conséquence, il n'est

pas nécessaire que les employeurs répètent les mesures ou calculs déjà effectués par le fabricant pour déterminer la conformité aux prescriptions essentielles de sécurité de ces équipements, qui sont précisées dans les directives communautaires applicables, à condition que les équipements aient été dûment et régulièrement entretenus.

- (13) Il y a lieu d'arrêter les mesures nécessaires à la mise en œuvre de la présente directive en conformité avec la décision 1999/468/CE du Conseil du 28 juin 1999 fixant les modalités de l'exercice des compétences d'exécution conférées à la Commission ⁽²⁾.
- (14) La conformité aux valeurs limites d'exposition devrait fournir un niveau élevé de protection par rapport aux effets sur la santé qui peuvent résulter de l'exposition à des rayonnements optiques.
- (15) La Commission devrait établir un guide pratique destiné à aider les employeurs, notamment les responsables de PME, à mieux comprendre les dispositions techniques de la présente directive. La Commission devrait s'efforcer de compléter ledit guide aussi vite que possible afin de faciliter l'adoption par les États membres des mesures nécessaires à la mise en œuvre de la présente directive.
- (16) Conformément au point 34 de l'accord interinstitutionnel «Mieux légiférer» ⁽³⁾, les États membres sont encouragés à établir, pour eux-mêmes et dans l'intérêt de la Communauté, leurs propres tableaux, qui illustrent, dans la mesure du possible, la concordance entre la présente directive et les mesures de transposition, et à les rendre publics,

ONT ARRÊTÉ LA PRÉSENTE DIRECTIVE:

SECTION I

GÉNÉRALITÉS

Article premier

Objectif et champ d'application

1. La présente directive, qui est la dix-neuvième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE, fixe des prescriptions minimales en matière de protection des travailleurs contre les risques pour leur santé et leur sécurité résultant ou susceptibles de résulter d'une exposition à des rayonnements optiques artificiels durant leur travail.

2. La présente directive porte sur les risques qu'entraînent, pour la santé et la sécurité des travailleurs, les effets nocifs sur les yeux et sur la peau de l'exposition à des rayonnements optiques artificiels.

⁽¹⁾ JO L 183 du 29.6.1989, p. 1. Directive modifiée par le règlement (CE) n° 1882/2003 du Parlement européen et du Conseil (JO L 284 du 31.10.2003, p. 1).

⁽²⁾ JO L 184 du 17.7.1999, p. 23.

⁽³⁾ JO C 321 du 31.12.2003, p. 1.

3. La directive 89/391/CEE s'applique intégralement à l'ensemble du domaine visé au paragraphe 1, sans préjudice de dispositions plus contraignantes et/ou plus spécifiques figurant dans la présente directive.

Article 2

Définitions

Aux fins de la présente directive, on entend par:

a) rayonnements optiques: tous les rayonnements électromagnétiques d'une longueur d'onde comprise entre 100 nm et 1 mm. Le spectre des rayonnements optiques se subdivise en rayonnements ultraviolets, en rayonnements visibles et en rayonnements infrarouges:

i) rayonnements ultraviolets: rayonnements optiques d'une longueur d'onde comprise entre 100 nm et 400 nm. Le domaine de l'ultraviolet se subdivise en rayonnements UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) et UVC (100-280 nm);

ii) rayonnements visibles: les rayonnements optiques d'une longueur d'onde comprise entre 380 nm et 780 nm;

iii) rayonnements infrarouges: les rayonnements optiques d'une longueur d'onde comprise entre 780 nm et 1 mm. Le domaine de l'infrarouge se subdivise en rayonnements IRA (780-1 400 nm), IRB (1 400 - 3 000 nm) et IRC (3 000 nm-1 mm);

b) laser (amplification de lumière par une émission stimulée de rayonnements): tout dispositif susceptible de produire ou d'amplifier des rayonnements électromagnétiques de longueur d'onde correspondant aux rayonnements optiques, essentiellement par le procédé de l'émission stimulée contrôlée;

c) rayonnements laser: les rayonnements optiques provenant d'un laser;

d) rayonnements incohérents: tous les rayonnements optiques autres que les rayonnements laser;

e) valeurs limites d'exposition: les limites d'exposition aux rayonnements optiques qui sont fondées directement sur des effets avérés sur la santé et des considérations biologiques. Le respect de ces limites garantira que les travailleurs exposés à des sources artificielles de rayonnement optique sont protégés de tout effet nocif connu sur la santé;

f) éclairage énergétique (E) ou densité de puissance: puissance rayonnée incidente par superficie unitaire sur une surface, exprimée en watts par mètre carré ($W m^{-2}$);

g) exposition énergétique (H): l'intégrale de l'éclairage énergétique par rapport au temps, exprimée en joules par mètre carré ($J m^{-2}$);

h) luminance énergétique (L): le flux énergétique ou la puissance par unité d'angle solide et par unité de surface, exprimé en watts par mètre carré par stéradian ($W m^{-2} sr^{-1}$);

i) niveau: la combinaison d'éclairage énergétique, d'exposition énergétique et de luminance énergétique à laquelle est exposé un travailleur.

Article 3

Valeurs limites d'exposition

1. Les valeurs limites d'exposition pour les rayonnements incohérents autres que ceux émis par les sources naturelles de rayonnement optique sont fixées à l'annexe I.

2. Les valeurs limites d'exposition pour les rayonnements laser sont fixées à l'annexe II.

SECTION II

OBLIGATIONS DES EMPLOYEURS

Article 4

Détermination de l'exposition et évaluation des risques

1. En exécutant les obligations définies à l'article 6, paragraphe 3, et à l'article 9, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE, l'employeur, dans le cas des travailleurs exposés à des sources artificielles de rayonnement optique, évalue et, si nécessaire, mesure et/ou calcule les niveaux de rayonnement optique auxquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés, afin que les mesures nécessaires pour réduire l'exposition aux limites applicables puissent être définies et mises en œuvre. La méthodologie employée dans l'évaluation, la mesure et/ou les calculs est conforme aux normes de la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne les rayonnements laser et aux recommandations de la Commission internationale de l'éclairage (CIE) et du Comité européen de normalisation (CEN) en ce qui concerne les rayonnements incohérents. Lorsque se présentent des situations d'exposition qui ne sont pas couvertes par ces normes et recommandations, et jusqu'à ce que des normes ou recommandations appropriées au niveau de l'Union européenne soient disponibles, l'évaluation, la mesure et/ou les calculs sont effectués selon des lignes directrices d'ordre scientifique établies au niveau national ou international. Dans les deux situations d'exposition, l'évaluation peut tenir compte des données fournies par les fabricants des équipements lorsque ces derniers font l'objet de directives communautaires pertinentes.

2. L'évaluation, la mesure et/ou les calculs visés au paragraphe 1 sont programmés et effectués par des services ou personnes compétents à des intervalles appropriés, compte tenu, notamment, des dispositions des articles 7 et 11 de la directive 89/391/CEE concernant les personnes ou services compétents nécessaires ainsi que la consultation et la participation des travailleurs. Les données issues de l'évaluation, y compris celles issues de la mesure et/ou du calcul du niveau d'exposition visé au paragraphe 1 sont conservées sous une forme susceptible de permettre leur consultation à une date ultérieure.

3. Conformément à l'article 6, paragraphe 3, de la directive 89/391/CEE, l'employeur prête une attention particulière, au moment de procéder à l'évaluation des risques, aux éléments suivants:

- a) le niveau, le domaine des longueurs d'onde et la durée de l'exposition à des sources artificielles de rayonnement optique;
- b) les valeurs limites d'exposition visées à l'article 3 de la présente directive;
- c) toute incidence sur la santé et la sécurité des travailleurs appartenant à des groupes à risques particulièrement sensibles;
- d) toute incidence éventuelle sur la santé et la sécurité des travailleurs résultant d'interactions, sur le lieu de travail, entre des rayonnements optiques et des substances chimiques photosensibilisantes;
- e) tout effet indirect tel qu'un aveuglement temporaire, une explosion ou un incendie;
- f) l'existence d'équipements de remplacement conçus pour réduire les niveaux d'exposition à des rayonnements optiques artificiels;
- g) des informations appropriées obtenues de la surveillance de la santé, y compris les informations publiées, dans la mesure du possible;
- h) l'exposition à plusieurs sources de rayonnements optiques artificiels;
- i) le classement d'un laser conformément à la norme pertinente de la CEI et, en ce qui concerne les sources artificielles susceptibles de provoquer des lésions similaires à celles provoquées par les lasers de classe 3B ou 4, tout classement analogue;
- j) l'information fournie par les fabricants de sources de rayonnement optique et d'équipements de travail associés conformément aux directives communautaires applicables.

4. L'employeur dispose d'une évaluation des risques conformément à l'article 9, paragraphe 1, point a), de la directive 89/391/CEE, et il identifie les mesures à prendre conformément aux articles 5 et 6 de la présente directive. L'évaluation des risques est enregistrée sur un support approprié, conformément à la législation et aux pratiques nationales; elle peut comporter des éléments apportés par l'employeur pour faire valoir que la nature et l'ampleur des risques liés aux rayonnements optiques ne justifient pas une évaluation plus complète des risques. L'évaluation des risques est régulièrement mise à jour, notamment lorsque des changements importants, susceptibles de la rendre caduque, sont intervenus ou lorsque les résultats de la surveillance de la santé en démontrent la nécessité.

Article 5

Dispositions visant à éviter ou à réduire les risques

1. En tenant compte des progrès techniques et de la disponibilité de mesures de maîtrise du risque à la source, les risques résultant de l'exposition à des rayonnements optiques artificiels sont éliminés ou réduits au minimum.

La réduction des risques résultant de l'exposition à des rayonnements optiques artificiels repose sur les principes généraux de prévention figurant dans la directive 89/391/CEE.

2. Lorsque l'évaluation des risques effectuée conformément à l'article 4, paragraphe 1, pour les travailleurs exposés à des sources artificielles de rayonnement optique indique la moindre possibilité que les valeurs limites d'exposition peuvent être dépassées, l'employeur établit et met en œuvre un programme comportant des mesures techniques et/ou organisationnelles destinées à prévenir l'exposition excédant les valeurs limites, tenant compte notamment des éléments suivants:

- a) autres méthodes de travail réduisant le risque dû aux rayonnements optiques;
- b) choix d'équipements émettant moins de rayonnements optiques, compte tenu du travail à effectuer;
- c) mesures techniques visant à réduire l'émission de rayonnements optiques, y compris, lorsque c'est nécessaire, le recours à des mécanismes de verrouillage, de blindage ou des mécanismes similaires de protection de la santé;
- d) programmes appropriés de maintenance des équipements de travail, du lieu de travail et des postes de travail;
- e) conception et agencement des lieux et postes de travail;
- f) limitation de la durée et du niveau de l'exposition;
- g) disponibilité d'équipements appropriés de protection individuelle;
- h) instructions fournies par le fabricant des équipements lorsque ces derniers font l'objet de directives communautaires pertinentes.

3. Sur la base de l'évaluation des risques effectuée conformément à l'article 4, les lieux de travail où les travailleurs pourraient être exposés à des niveaux de rayonnement optique provenant de sources artificielles et dépassant les valeurs limites d'exposition font l'objet d'une signalisation adéquate, conformément à la directive 92/58/CEE du 24 juin 1992 concernant les prescriptions minimales pour la signalisation de sécurité et/ou de santé au travail (neuvième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE) ⁽¹⁾. Ces lieux sont circonscrits et leur accès est limité lorsque cela est techniquement possible et qu'existe un risque de dépassement des valeurs limites d'exposition.

4. L'exposition des travailleurs ne doit en aucun cas dépasser les valeurs limites d'exposition. Si, en dépit des mesures prises par l'employeur pour se conformer à la présente directive en ce qui concerne les sources artificielles de rayonnement optique, l'exposition dépasse les valeurs limites, l'employeur prend immédiatement des mesures pour réduire l'exposition à un niveau inférieur aux valeurs limites. L'employeur détermine les causes du dépassement des valeurs limites d'exposition et adapte en conséquence les mesures de protection et de prévention afin d'éviter tout nouveau dépassement.

5. En application de l'article 15 de la directive 89/391/CEE, l'employeur adapte les mesures prévues au présent article aux besoins des travailleurs appartenant à des groupes à risques particulièrement sensibles.

Article 6

Information et formation des travailleurs

Sans préjudice des articles 10 et 12 de la directive 89/391/CEE, l'employeur veille à ce que les travailleurs qui sont exposés aux risques dus à des rayonnements optiques artificiels sur leur lieu de travail, et/ou leurs représentants, reçoivent les informations et la formation nécessaires en rapport avec les résultats de l'évaluation des risques prévue à l'article 4 de la présente directive, notamment en ce qui concerne:

- a) les mesures prises en application de la présente directive;
- b) les valeurs limites d'exposition et risques potentiels associés;
- c) les résultats de l'évaluation, de la mesure et/ou des calculs des niveaux d'exposition aux rayonnements optiques artificiels effectués en application de l'article 4 de la présente directive, ainsi que les explications sur leur signification et sur les risques potentiels;
- d) la manière de dépister les effets nocifs d'une exposition sur la santé et de les signaler;
- e) les conditions dans lesquelles les travailleurs ont droit à une surveillance de la santé;

- f) les pratiques professionnelles sûres permettant de réduire au minimum les risques résultant d'une exposition;
- g) l'utilisation adéquate des équipements de protection personnelle appropriés.

Article 7

Consultation et participation des travailleurs

La consultation et la participation des travailleurs et/ou de leurs représentants ont lieu conformément à l'article 11 de la directive 89/391/CEE en ce qui concerne les matières couvertes par la présente directive.

SECTION III

DISPOSITIONS DIVERSES

Article 8

Surveillance de la santé

1. En vue de la prévention et de la détection en temps utile de tout effet préjudiciable à la santé, ainsi que de la prévention de tout risque pour la santé à long terme et de tout risque de maladie chronique, résultant de l'exposition aux rayonnements optiques, les États membres adoptent des dispositions destinées à garantir une surveillance adéquate de la santé des travailleurs conformément à l'article 14 de la directive 89/391/CEE.

2. Les États membres veillent à ce que la surveillance de la santé soit réalisée par un docteur, un spécialiste de la médecine du travail ou une autorité médicale responsable de la surveillance de la santé conformément à la loi et aux pratiques nationales.

3. Les États membres prennent les dispositions nécessaires pour garantir qu'un dossier de santé individuel soit ouvert et mis à jour pour chaque travailleur dont la santé fait l'objet d'une mesure de surveillance conformément au paragraphe 1. Les dossiers médicaux contiennent un résumé des résultats de la surveillance ainsi réalisée. Ils sont conservés sous une forme appropriée qui permet des consultations ultérieures, dans le respect des exigences de confidentialité. L'autorité compétente obtient à sa demande copie des dossiers en question, dans le respect des exigences de confidentialité. L'employeur prend les mesures adéquates afin de garantir que le docteur, le spécialiste de la médecine du travail ou l'autorité médicale responsable de la surveillance de la santé, tels que déterminés par les États membres le cas échéant, a accès aux résultats de l'évaluation des risques visée à l'article 4 lorsque ces résultats peuvent être utiles à la surveillance de la santé. Chaque travailleur a individuellement accès, à sa demande, aux dossiers de santé qui le concernent personnellement.

⁽¹⁾ JO L 245 du 26.8.1992, p. 23.

4. Dans tous les cas, lorsque l'exposition au-delà des valeurs limites est détectée, un examen médical est proposé au(x) travailleur(s) concerné(s) conformément à la loi et aux pratiques nationales. Cet examen médical est également effectué lorsqu'il ressort de la surveillance dont sa santé a fait l'objet qu'un travailleur souffre d'une maladie identifiable ou d'effets préjudiciables à sa santé et qu'un médecin ou un spécialiste de la médecine du travail estime que cette maladie ou ces effets résultent d'une exposition à des rayonnements optiques artificiels sur le lieu du travail. Dans les deux cas, lorsque les valeurs limites sont dépassées ou que des effets préjudiciables à la santé (y compris des maladies) sont détectés:

- a) le travailleur est informé par le médecin ou toute autre personne dûment qualifiée des résultats qui le concernent personnellement. Il bénéficie notamment d'informations et de conseils relatifs à toute mesure de surveillance de la santé à laquelle il conviendrait qu'il se soumette à l'issue de l'exposition;
- b) l'employeur est informé des éléments significatifs qui ressortent de la surveillance de la santé, dans le respect des exigences en matière de secret médical;
- c) l'employeur:

- réexamine l'évaluation des risques effectuée en vertu de l'article 4,
- réexamine les mesures qu'il a adoptées en vertu de l'article 5 pour éliminer ou réduire les risques,
- prend en compte les conseils du spécialiste de la médecine du travail, de toute autre personne dûment qualifiée ou de l'autorité compétente lorsqu'il met en œuvre toute mesure nécessaire pour éliminer ou réduire le risque conformément à l'article 5, et
- met en place une surveillance médicale continue et prévoit un réexamen de l'état de santé de tout autre travailleur qui a subi une exposition analogue. Dans de tels cas, le médecin ou spécialiste de la médecine du travail compétent ou l'autorité compétente peuvent proposer que les personnes exposées soient soumises à un examen médical.

Article 9

Sanctions

Les États membres prévoient des sanctions appropriées qui s'appliquent dans le cas de violation de la législation nationale adoptée conformément à la présente directive. Ces sanctions doivent être effectives, proportionnées et dissuasives.

Article 10

Modifications techniques

1. Toute modification des valeurs limites d'exposition qui figurent dans les annexes est adoptée par le Parlement européen et le Conseil conformément à la procédure prévue à l'article 137, paragraphe 2, du traité.
2. Des modifications des annexes, de nature purement technique en tenant compte:
 - a) de l'adoption de directives en matière d'harmonisation technique et de normalisation relatives à la conception, à la construction, à la fabrication ou à la réalisation d'équipements et/ou de lieux de travail;
 - b) du progrès technique, des modifications des normes européennes harmonisées ou des spécifications internationales les plus pertinentes et des nouvelles connaissances scientifiques concernant l'exposition aux rayonnements optiques dans le cadre du travail,

sont arrêtées conformément à la procédure prévue à l'article 11, paragraphe 2.

Article 11

Comité

1. La Commission est assistée par le comité visé à l'article 17 de la directive 89/391/CEE.
2. Dans le cas où il est fait référence au présent paragraphe, les articles 5 et 7 de la décision 1999/468/CE s'appliquent, dans le respect des dispositions de l'article 8 de celle-ci.

La période prévue à l'article 5, paragraphe 6, de la décision 1999/468/CE est fixée à trois mois.

3. Le comité adopte son règlement intérieur.

SECTION IV

DISPOSITIONS FINALES

Article 12

Rapports

Tous les cinq ans, les États membres soumettent à la Commission un rapport sur la mise en œuvre pratique de la présente directive, indiquant le point de vue des partenaires sociaux.

Tous les cinq ans, la Commission informe le Parlement européen, le Conseil, le Comité économique et social européen et le comité consultatif pour la sécurité et la santé sur le lieu du travail du contenu de ces rapports, de l'évaluation qu'elle fait de ces rapports, des développements intervenus dans le domaine en question et de toute action qui pourrait être justifiée au vu des nouvelles connaissances scientifiques.

Article 13

Guide pratique

Afin de faciliter la mise en œuvre de la présente directive, la Commission établit un guide pratique relatif aux dispositions des articles 4 et 5 et des annexes I et II.

Article 14

Transposition

1. Les États membres mettent en vigueur les dispositions législatives, réglementaires et administratives nécessaires pour se conformer à la présente directive au plus tard le 27 avril 2010. Ils en informent immédiatement la Commission.

Lorsque les États membres adoptent ces dispositions, celles-ci contiennent une référence à la présente directive ou sont accompagnées d'une telle référence lors de leur publication officielle. Les modalités de cette référence sont arrêtées par les États membres.

2. Les États membres communiquent à la Commission le texte des dispositions de droit interne qu'ils ont déjà adoptées

ou qu'ils adoptent dans le domaine régi par la présente directive.

Article 15

Entrée en vigueur

La présente directive entre en vigueur le jour de sa publication au *Journal officiel de l'Union européenne*.

Article 16

Destinataires

Les États membres sont destinataires de la présente directive.

Fait à Strasbourg, le 5 avril 2006.

Par le Parlement européen

Le président

J. BORRELL FONTELLES

Par le Conseil

Le président

H. WINKLER

ANNEXE I

Rayonnements optiques incohérents

Les valeurs d'exposition aux rayonnements optiques qui sont pertinentes d'un point de vue biophysique peuvent être calculées au moyen des formules énoncées ci-dessous. Les formules à utiliser sont choisies en fonction du domaine spectral du rayonnement émis par la source, et il convient de comparer les résultats avec les valeurs limites d'exposition correspondantes qui figurent dans le tableau 1.1. Plus d'une valeur d'exposition, et donc plus d'une limite d'exposition correspondante, peut être pertinente pour une source de rayonnements optiques donnée.

Les points a) à o) renvoient aux lignes correspondantes du tableau 1.1.

- | | | |
|--------|---|---|
| a) | $H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$ | (La formule H_{eff} n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 180 et 400 nm) |
| b) | $H_{\text{UVA}} = \int_0^t \int_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$ | (La formule H_{UVA} n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 315 et 400 nm) |
| c), d) | $L_{\text{B}} = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$ | (La formule L_{B} n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 300 et 700 nm) |
| e), f) | $E_{\text{B}} = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$ | (La formule E_{B} n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 300 et 700 nm) |
| g à l) | $L_{\text{R}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$ | (Voir le tableau 1.1 pour les valeurs appropriées de λ_1 et de λ_2) |
| m), n) | $E_{\text{IR}} = \int_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$ | (La formule E_{IR} n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 780 et 3 000 nm) |
| o) | $H_{\text{peau}} = \int_0^t \int_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$ | (La formule H_{peau} n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 380 et 3 000 nm) |

Aux fins de la présente directive, les formules précitées peuvent être remplacées par les expressions suivantes et par l'utilisation de valeurs discrètes conformément aux tableaux figurant ci-après:

- | | | |
|--------|--|--|
| a) | $E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ | et $H_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} \cdot \Delta t$ |
| b) | $E_{\text{UVA}} = \sum_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$ | et $H_{\text{UVA}} = E_{\text{UVA}} \cdot \Delta t$ |
| c), d) | $L_{\text{B}} = \sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ | |
| e), f) | $E_{\text{B}} = \sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ | |
| g à l) | $L_{\text{R}} = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ | (Voir le tableau 1.1 pour les valeurs appropriées de λ_1 et de λ_2) |
| m), n) | $E_{\text{IR}} = \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$ | |

$$o) \quad E_{\text{peau}} = \sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad \text{et} \quad H_{\text{skin}} = E_{\text{skin}} \cdot \Delta t$$

Notes:

$E\lambda(\lambda, t)$, $E\lambda$ *éclairage énergétique spectrique ou densité de puissance spectrique*: puissance rayonnée incidente par superficie unitaire sur une surface, exprimée en watts par mètre carré par nanomètre [$\text{W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$]; les valeurs de $E\lambda(\lambda, t)$ et de E_{λ} soit proviennent de mesures soit peuvent être communiquées par le fabricant de l'équipement;

E_{eff} *éclairage énergétique efficace (gamme des UV)*: éclairage énergétique calculé à l'intérieur de la gamme de longueur d'onde UV comprise entre 180 et 400 nm, pondéré en fonction de la longueur d'onde par $S(\lambda)$ et exprimé en watts par mètre carré [W m^{-2}];

H *exposition énergétique*: l'intégrale de l'éclairage énergétique par rapport au temps, exprimée en joules par mètre carré [J m^{-2}];

H_{eff} *exposition énergétique efficace*: exposition énergétique pondérée en fonction de la longueur d'onde par $S(\lambda)$, exprimée en joules par mètre carré [J m^{-2}];

E_{UVA} *éclairage énergétique total (UVA)*: éclairage énergétique calculé à l'intérieur de la gamme de longueur d'onde UVA comprise entre 315 et 400 nm, exprimé en watts par mètre carré [W m^{-2}];

H_{UVA} *exposition énergétique*: l'intégrale ou la somme de l'éclairage énergétique par rapport au temps et à la longueur d'onde calculée à l'intérieur de la gamme de longueur d'onde UVA comprise entre 315 et 400 nm, exprimée en joules par mètre carré [J m^{-2}];

$S(\lambda)$ *pondération spectrale* qui tient compte du rapport entre la longueur d'onde et les effets sanitaires des rayonnements UV sur les yeux et la peau, (tableau 1.2) [sans dimension];

$t, \Delta t$ *temps, durée de l'exposition*, exprimés en secondes [s];

λ *longueur d'onde*, exprimée en nanomètres [nm];

$\Delta\lambda$ *largeur de bande*, exprimée en nanomètres [nm], des intervalles de calcul ou de mesure;

$L\lambda(\lambda), L_{\lambda}$ *luminance énergétique spectrique* de la source exprimée en watts par mètre carré par stéradian par nanomètre [$\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ nm}^{-1}$];

$R(\lambda)$ *pondération spectrale* qui tient compte du rapport entre la longueur d'onde et la lésion de l'œil par effet thermique provoquée par des rayonnements visibles et IRA (tableau 1.3) [sans dimension];

L_R *luminance efficace (lésion par effet thermique)*: luminance calculée et pondérée en fonction de la longueur d'onde par $R(\lambda)$, exprimée en watts par mètre carré par stéradian [$\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$];

$B(\lambda)$ *pondération spectrale* qui tient compte du rapport entre la longueur d'onde et la lésion photochimique de l'œil provoquée par une lumière bleue (tableau 1.3) [sans dimension];

L_B *luminance efficace (lumière bleue)*: luminance calculée et pondérée en fonction de la longueur d'onde par $B(\lambda)$, exprimée en watts par mètre carré par stéradian [$\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$];

E_B *éclairage énergétique efficace (lumière bleue)*: éclairage énergétique calculé et pondéré en fonction de la longueur d'onde par $B(\lambda)$, exprimé en watts par mètre carré [W m^{-2}];

E_{IR} *éclairage énergétique total (lésion par effet thermique)*: éclairage énergétique calculé à l'intérieur de la gamme de longueur d'onde infrarouge comprise entre 780 et 3 000 nm, exprimé en watts par mètre carré [W m^{-2}];

E_{peau} *éclairage énergétique total (visible, IRA et IRB)*: éclairage énergétique calculé à l'intérieur de la gamme de longueur d'onde visible et infrarouge comprise entre 380 et 3 000 nm, exprimé en watts par mètre carré [W m^{-2}];

H_{peau} *exposition énergétique*, l'intégrale ou la somme de l'éclairage énergétique par rapport au temps et à la longueur d'onde calculée à l'intérieur de la gamme de longueur d'onde visible et infrarouge comprise entre 380 et 3 000 nm, exprimée en joules par mètre carré [J m^{-2}];

α *angle apparent*: l'angle sous-tendu par une source apparente, telle que vue en un point de l'espace, exprimé en milliradians (mrad). La source apparente est l'objet réel ou virtuel qui forme l'image rétinienne la plus petite possible.

Tableau 1.1
Valeurs limites d'exposition pour les rayonnements optiques incohérents

Index.	Longueur d'onde nm	Valeur limite d'exposition	Unités	Observation	Partie du corps	Risque
a.	180-400 (UVA, UVB et UVC)	$H_{\text{eff}} = 30$ Valeur journalière 8 heures	$[J \cdot m^{-2}]$		œil cornée conjonctive cristallin peau	photokératite conjonctivite cataractogénèse érythème élastose cancer de la peau
b.	315-400 (UVA)	$H_{\text{UVA}} = 10^4$ Valeur journalière 8 heures	$[J \cdot m^{-2}]$		œil cristallin	cataractogénèse
c.	300-700 (Lumière bleue) (1)	$L_B = \frac{10^6}{t}$ pour $t \leq 10\,000$ s	$L_{B,i} [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$ t : [secondes]	pour $\alpha \geq 11$ mrad		
d.	300-700 (Lumière bleue) (1)	$L_B = 100$ pour $t > 10\,000$ s	$[W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$			
e.	300-700 (Lumière bleue) (1)	$E_B = \frac{100}{t}$ pour $t \leq 10\,000$ s	E_B : $[W \cdot m^{-2}]$ t : [secondes]	pour $\alpha < 11$ mrad (2)	œil rétine	photorétinite
f.	300-700 (Lumière bleue) (1)	$E_B = 0,01$ pour $t > 10\,000$ s	$[W \cdot m^{-2}]$			

Index.	Longueur d'onde nm	Valeur limite d'exposition	Unités	Observation	Partie du corps	Risque
g.	380-1 400 (Visible et IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_a}$ pour $t > 10$ s	[W m ⁻² sr ⁻¹]	$C_a = 1,7$ pour $\alpha \leq 1,7$ mrad $C_a = \alpha$ pour $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_a = 100$ pour $\alpha > 100$ mrad $\lambda_1 = 380; \lambda_2 = 1 400$	œil rétine	brûlure rétinienne
h.	380-1 400 (Visible et IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_a^{0,25}}$ pour $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10$ s	L_R : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [secondes]			
i.	380-1 400 (Visible et IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_a}$ pour $t < 10 \mu\text{s}$	[W m ⁻² sr ⁻¹]			
j.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_a}$ pour $t > 10$ s	[W m ⁻² sr ⁻¹]	$C_a = 11$ pour $\alpha \leq 11$ mrad $C_a = \alpha$ pour $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_a = 100$ pour $\alpha > 100$ mrad (champ de mesure: 11 mrad) $\lambda_1 = 780; \lambda_2 = 1 400$		
k.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_a^{0,25}}$ pour $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10$ s	L_R : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [secondes]			
l.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_a}$ pour $t < 10 \mu\text{s}$	[W m ⁻² sr ⁻¹]			
m.	780-3 000 (IRA et IRB)	$E_{IR} = 18 000 t^{-0,75}$ pour $t \leq 1 000$ s	E: [W m ⁻²] t: [secondes]		œil cornée cristallin	brûlure cornéenne cataractogénèse
n.	780-3 000 (IRA et IRB)	$E_{IR} = 100$ pour $t > 1 000$ s	[W m ⁻²]			

Index.	Longueur d'onde nm	Valeur limite d'exposition	Unités	Observation	Partie du corps	Risque
o.	380-3 000 (Visible, IRA et IRB)	$H_{\text{peau}} = 20\,000\ t^{0,25}$ pour $t < 10\text{ s}$	H: [J m ⁻²] t: [secondes]		peau	brûlure
(1)	La gamme comprise entre 300 et 700 nm couvre une partie des UVB, tous les UVA et la plupart des rayonnements visibles. Toujours est-il que les dangers associés sont communément appelés «dangers de la lumière bleue». La lumière bleue proprement dite ne couvre, approximativement, que la gamme entre 400 et 490 nm.					
(2)	Pour la fixation du regard sur de très petites sources d'une amplitude inférieure à 11 mrad, L_B peut être converti en E_B . Normalement, cela ne s'applique qu'aux instruments ophtalmologiques ou à un œil stabilisé lors d'une anesthésie. La durée maximale pendant laquelle on peut fixer une source se détermine en appliquant la formule suivante: $t_{\text{max}} = 100/E_B$, E_B s'exprimant en W m ⁻² . Du fait des mouvements des yeux lors de tâches visuelles normales, cette durée n'excède pas 100s.					

Tableau 1.2

S (λ) [sans dimension], 180 nm à 400 nm

λ en nm	S (λ)	λ en nm	S (λ)	λ en nm	S (λ)	λ en nm	S (λ)	λ en nm	S (λ)
180	0,0120	228	0,1737	276	0,9434	324	0,000520	372	0,000086
181	0,0126	229	0,1819	277	0,9272	325	0,000500	373	0,000083
182	0,0132	230	0,1900	278	0,9112	326	0,000479	374	0,000080
183	0,0138	231	0,1995	279	0,8954	327	0,000459	375	0,000077
184	0,0144	232	0,2089	280	0,8800	328	0,000440	376	0,000074
185	0,0151	233	0,2188	281	0,8568	329	0,000425	377	0,000072
186	0,0158	234	0,2292	282	0,8342	330	0,000410	378	0,000069
187	0,0166	235	0,2400	283	0,8122	331	0,000396	379	0,000066
188	0,0173	236	0,2510	284	0,7908	332	0,000383	380	0,000064
189	0,0181	237	0,2624	285	0,7700	333	0,000370	381	0,000062
190	0,0190	238	0,2744	286	0,7420	334	0,000355	382	0,000059
191	0,0199	239	0,2869	287	0,7151	335	0,000340	383	0,000057
192	0,0208	240	0,3000	288	0,6891	336	0,000327	384	0,000055
193	0,0218	241	0,3111	289	0,6641	337	0,000315	385	0,000053
194	0,0228	242	0,3227	290	0,6400	338	0,000303	386	0,000051
195	0,0239	243	0,3347	291	0,6186	339	0,000291	387	0,000049
196	0,0250	244	0,3471	292	0,5980	340	0,000280	388	0,000047
197	0,0262	245	0,3600	293	0,5780	341	0,000271	389	0,000046
198	0,0274	246	0,3730	294	0,5587	342	0,000263	390	0,000044
199	0,0287	247	0,3865	295	0,5400	343	0,000255	391	0,000042
200	0,0300	248	0,4005	296	0,4984	344	0,000248	392	0,000041
201	0,0334	249	0,4150	297	0,4600	345	0,000240	393	0,000039
202	0,0371	250	0,4300	298	0,3989	346	0,000231	394	0,000037
203	0,0412	251	0,4465	299	0,3459	347	0,000223	395	0,000036
204	0,0459	252	0,4637	300	0,3000	348	0,000215	396	0,000035
205	0,0510	253	0,4815	301	0,2210	349	0,000207	397	0,000033
206	0,0551	254	0,5000	302	0,1629	350	0,000200	398	0,000032
207	0,0595	255	0,5200	303	0,1200	351	0,000191	399	0,000031
208	0,0643	256	0,5437	304	0,0849	352	0,000183	400	0,000030
209	0,0694	257	0,5685	305	0,0600	353	0,000175		
210	0,0750	258	0,5945	306	0,0454	354	0,000167		
211	0,0786	259	0,6216	307	0,0344	355	0,000160		
212	0,0824	260	0,6500	308	0,0260	356	0,000153		
213	0,0864	261	0,6792	309	0,0197	357	0,000147		
214	0,0906	262	0,7098	310	0,0150	358	0,000141		
215	0,0950	263	0,7417	311	0,0111	359	0,000136		
216	0,0995	264	0,7751	312	0,0081	360	0,000130		
217	0,1043	265	0,8100	313	0,0060	361	0,000126		
218	0,1093	266	0,8449	314	0,0042	362	0,000122		
219	0,1145	267	0,8812	315	0,0030	363	0,000118		
220	0,1200	268	0,9192	316	0,0024	364	0,000114		
221	0,1257	269	0,9587	317	0,0020	365	0,000110		
222	0,1316	270	1,0000	318	0,0016	366	0,000106		
223	0,1378	271	0,9919	319	0,0012	367	0,000103		
224	0,1444	272	0,9838	320	0,0010	368	0,000099		
225	0,1500	273	0,9758	321	0,000819	369	0,000096		
226	0,1583	274	0,9679	322	0,000670	370	0,000093		
227	0,1658	275	0,9600	323	0,000540	371	0,000090		

Tableau 1.3

B (λ), R (λ) [sans dimension], 380 nm à 1 400 nm

λ en nm	B (λ)	R (λ)
300 < λ < 380	0,01	—
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,1	1
405	0,2	2
410	0,4	4
415	0,8	8
420	0,9	9
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1	10
440	1	10
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,9	9
460	0,8	8
465	0,7	7
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,32	3,2
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1
500 < λ ≤ 600	$10^{0,02 \cdot (450 - \lambda)}$	1
600 < λ ≤ 700	0,001	1
700 < λ ≤ 1 050	—	$10^{0,002 \cdot (700 - \lambda)}$
1 050 < λ ≤ 1 150	—	0,2
1 150 < λ ≤ 1 200	—	$0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1\,150 - \lambda)}$
1 200 < λ ≤ 1 400	—	0,02

ANNEXE II

Rayonnements optiques laser

Les valeurs d'exposition aux rayonnements optiques qui sont pertinentes du point de vue biophysique peuvent être calculées au moyen des formules énoncées ci-dessous. Les formules à utiliser sont choisies en fonction de la longueur d'onde et de la durée du rayonnement émis par la source, et il convient de comparer les résultats avec les valeurs limites d'exposition correspondantes qui figurent dans les tableaux 2.2, 2.3 et 2.4. Plus d'une valeur d'exposition, et donc plus d'une limite d'exposition correspondante, peut être pertinente pour une source de rayonnements optiques laser donnée.

Les coefficients qui sont utilisés comme outils de calcul dans les tableaux 2.2, 2.3 et 2.4 sont indiqués dans le tableau 2.5; les corrections applicables aux expositions répétitives figurent dans le tableau 2.6.

$$E = \frac{dP}{dA} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$$

$$H = \int_0^t E(t) \cdot dt \text{ [J m}^{-2}\text{]}$$

Notes:

dP *puissance* exprimée en watts [W];

dA *surface* exprimée en mètres carrés [m²];

E (t), E *éclairage énergétique ou densité de puissance*: puissance rayonnée incidente par superficie unitaire sur une surface, généralement exprimée en watts par mètres carrés [W m⁻²]. Les valeurs de E(t), E, soit proviennent de mesures, soit peuvent être communiquées par le fabricant de l'équipement;

H *exposition énergétique*: l'intégrale de l'éclairage énergétique par rapport au temps, exprimée en joules par mètre carré [J m⁻²];

t *temps, durée de l'exposition*, exprimée en secondes [s];

λ *longueur d'onde*, exprimée en nanomètres [nm];

γ *angle de cône de limitation du champ de mesure*, exprimé en milliradians [mrad];

γ_m *champ de mesure*, exprimé en milliradians [mrad];

α *angle apparent d'une source*, exprimée en milliradians [mrad];

diaphragme limite: la surface circulaire utilisée pour calculer les moyennes de l'éclairage énergétique et de l'exposition énergétique;

G *luminance énergétique intégrée*: l'intégrale de la luminance énergétique sur une durée d'exposition donnée, exprimée sous forme d'énergie rayonnante par superficie unitaire d'une surface rayonnante et par angle solide unitaire d'émission, en joules par mètre carré par stéradian [J m⁻² sr⁻¹].

Tableau 2.1

Risques associés aux rayonnements

Longueur d'onde [nm] λ	Région du spectre	Organe atteint	Risque	Tableaux dans lesquels figurent les valeurs limites d'exposition
180 à 400	UV	ceil	lésion photochimique et lésion thermique	2.2, 2.3
180 à 400	UV	peau	érythème	2.4
400 à 700	visible	ceil	lésion de la rétine	2.2
400 à 600	visible	ceil	lésion photochimique	2.3
400 à 700	visible	peau	lésion thermique	2.4
700 à 1 400	IRA	ceil	lésion thermique	2.2, 2.3
700 à 1 400	IRA	peau	lésion thermique	2.4
1 400 à 2 600	IRB	ceil	lésion thermique	2.2
2 600 à 10 ⁶	IRC	ceil	lésion thermique	2.2
1 400 à 10 ⁶	IRB, IRC	ceil	lésion thermique	2.3
1 400 à 10 ⁶	IRB, IRC	peau	lésion thermique	2.4

Tableau 2.2

Valeurs limites d'exposition de l'œil au laser — Exposition de courte durée < 10 s

Longueur d'onde (λ) [nm]	Diamètre limite	Durée [s]			
		10 ⁻¹³ - 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ - 10 ⁻⁹	10 ⁻⁷ - 1,8 · 10 ⁻⁵	1,8 · 10 ⁻⁵ - 5 · 10 ⁻⁵
UVC	180-280				
	280-302				
	303				
	304				
	305				
	306				
	307				
UVB	308				
	309				
	310				
	311				
	312				
	313				
	314				
	315-400				
Visibles et IRA	400-700				
	700-1 050				
	1 050-1 400				
IRB et IRC	1 400-1 500				
	1 500-1 800				
	1 800-2 600				
	2 600-10 ⁶				

Si la longueur d'onde du laser correspond à deux limites, la limite la plus restrictive s'applique.
 Si 1 400 ≤ λ < 10⁶ nm: diamètre de diaphragme limite = 1 mm pour t ≤ 0,3 s et 1,5 · t^{0,375} mm pour 0,3 s < t < 10 s;
 si 10⁵ ≤ λ < 10⁶ nm: diamètre de diaphragme limite = 11 mm.
 Faute de données pour ces durées d'impulsion, la CIPRNI recommande l'utilisation des limites de luminance énergétiques pour 1 ns.
 Le tableau indique des valeurs correspondant à une seule impulsion laser. S'il y a plusieurs impulsions laser, il faut en additionner les durées pour les impulsions émises au cours d'un intervalle T_{min} (figurant dans le tableau 2.6) et donner à t la valeur qui en résulte dans la formule: 5,6 · 10⁻¹¹ · t^{0,25}.

Tableau 2.3

Valeurs limites d'exposition de l'œil au laser — Exposition de longue durée > 10 s

Longueur d'onde (λ) [nm]	Diaphragme limite	Durée [s]	
		10 ¹ -10 ²	10 ² -10 ⁴
UVC	3,5 mm	180-280	H = 30 [J m ⁻²]
		280-302	H = 40 [J m ⁻²]
		303	H = 60 [J m ⁻²]
		304	H = 100 [J m ⁻²]
		305	H = 160 [J m ⁻²]
		306	H = 250 [J m ⁻²]
		307	H = 400 [J m ⁻²]
		308	H = 630 [J m ⁻²]
		309	H = 1,0 · 10 ³ [J m ⁻²]
		310	H = 1,6 · 10 ³ [J m ⁻²]
UVB	3,5 mm	311	H = 2,5 · 10 ³ [J m ⁻²]
		312	H = 4,0 · 10 ³ [J m ⁻²]
		313	H = 6,3 · 10 ³ [J m ⁻²]
		314	H = 10 ⁴ [J m ⁻²]
		315-400	H = 10 ⁴ [J m ⁻²]
UVA	3,5 mm	400-600	H = 100 C _B [J m ⁻²] (γ = 11 mrad) ⁽¹⁾
		400-700	si α < 1,5 mrad si α > 1,5 mrad et t ≤ T ₂ si α > 1,5 mrad et t > T ₂ alors E = 10 C _A C _C [W m ⁻²] alors H = 18 C _E t ^{0,75} [J m ⁻²] alors E = 18 C _E T ₂ ^{-0,25} [W m ⁻²]
Visible 400 - 700	7 mm	400-700	si α < 1,5 mrad si α > 1,5 mrad et t ≤ T ₂ si α > 1,5 mrad et t > T ₂ alors E = 10 C _A C _C [W m ⁻²] alors H = 18 C _E C _C t ^{0,75} [J m ⁻²] alors E = 18 C _E C _C T ₂ ^{-0,25} [W m ⁻²] (ne doit pas être supérieur à 1 000 W m ⁻²)
		700-1400	E = 1000 [W m ⁻²]
IRA	7 mm	E = 1000 [W m ⁻²]	
IRB et IRC	∞	E = 1000 [W m ⁻²]	

(1) Si la longueur d'onde ou un autre paramètre du laser correspond à deux limites, la limite la plus restrictive s'applique.
Pour les petites sources sous-tendant un angle de 1,5 mrad ou moins, les doubles limites d'exposition E entre 400 nm et 600 nm, dans le spectre visible, se réduisent aux limites thermiques pour 10 s ≤ t < T₁ et aux limites photochimiques pour les durées supérieures. Pour T₁ et T₂, voir le tableau 2.5. La limite pour le risque rétinien lié à un effet photochimique peut aussi être exprimée sous forme d'une luminance énergétique intégrée par rapport au temps G = 10⁶ C_B [J m⁻² sr⁻¹] pour t > 10 s jusqu'à t = 10 000 s et L = 100 C_B [W m⁻² sr⁻¹] pour t > 10 000 s. Pour la mesure de G et L, il faut utiliser γ_m comme champ pour le calcul des moyennes. Officiellement, la limite entre le domaine visible et le domaine infrarouge se situe à 780 nm, selon la définition de la CIE. La colonne dans laquelle sont indiqués les noms des domaines de longueurs d'onde est uniquement destinée à donner un meilleur aperçu à l'utilisateur. (Le symbole L est utilisé par la CIE et le symbole LP est utilisé par la CEI et le CENELEC.)
(2) Pour les longueurs d'onde de 1400 à 10⁵ nm: diamètre de diaphragme limite = 3,5 mm; pour les longueurs d'onde de 10⁵ à 10⁶ nm: diamètre de diaphragme limite = 11 mm.
Pour la mesure de la valeur d'exposition, la prise en compte de γ est définie de la façon suivante: si α (angle apparent de la source) > γ (angle de cône de limitation, indiqué entre crochets dans la colonne correspondante), alors le champ de mesure γ_m devrait être la valeur indiquée pour γ (si un champ de mesure plus grand était utilisé, le risque serait surestimé).
Si α < γ, le champ de mesure γ_m doit être suffisamment grand pour englober entièrement la source, mais il n'est pas limité et peut être plus grand que γ.

Tableau 2.4

Valeurs limites d'exposition de la peau au laser

Longueur d'onde (°) [nm]	Diaphragme limite	Durée [s]				
		$< 10^9$	$10^9 - 10^7$	$10^7 - 10^3$	$10^3 - 10^1$	$10^1 - 10^3$
UV (A, B, C) 180-400	3,5mm	$E = 3 \cdot 10^{10} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	Voir limites d'exposition de l'œil			
Visible et IRA	3,5mm	$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	$H = 200 C_A$ [J m ⁻²]	$H = 1,1 \cdot 10^4 C_A t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	$E = 2 \cdot 10^3 C_A \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	
		$E = 2 \cdot 10^{11} C_A \text{ [W m}^{-2}\text{]}$				
IRB et IRC	3,5mm	$E = 10^{12} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	Voir limites d'exposition de l'œil			
		$E = 10^{13} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$				
		$E = 10^{12} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$				
		$E = 10^{11} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$				

(°) Si la longueur d'onde ou un autre paramètre du laser correspond à deux limites, la limite la plus restrictive s'applique.

Tableau 2.5

Facteurs de correction appliqués et autres paramètres de calcul

Paramètre utilisé par la CIPRNI	Gamme spectrale valable (nm)	Valeur
C _A	$\lambda < 700$	C _A = 1,0
	700-1 050	C _A = 10 ^{0,002(λ - 700)}
	1 050-1 400	C _A = 5,0
C _B	400-450	C _B = 1,0
	450-700	C _B = 10 ^{0,02(λ - 450)}
C _C	700-1 150	C _C = 1,0
	1 150-1 200	C _C = 10 ^{0,018(λ - 1 150)}
	1 200 -1 400	C _C = 8,0
T ₁	$\lambda < 450$	T ₁ = 10 s
	450-500	T ₁ = 10 · [10 ^{0,02 (λ - 450)}] s
	$\lambda > 500$	T ₁ = 100 s
Paramètre utilisé par la CIPRNI	Valable pour les effets biologiques	Valeur
α _{min}	tous les effets thermiques	α _{min} = 1,5 mrad
Paramètre utilisé par la CIPRNI	Gamme angulaire valable (mrad)	Valeur
C _E	$\alpha < \alpha_{\min}$	C _E = 1,0
	$\alpha_{\min} < \alpha < 100$	C _E = α/α _{min}
	$\alpha > 100$	C _E = α ² /(α _{min} · α _{max}) mrad avec α _{max} = 100 mrad
T ₂	$\alpha < 1,5$	T ₂ = 10 s
	1,5 < α < 100	T ₂ = 10 · [10 ^{(α - 1,5) / 98,5}] s
	$\alpha > 100$	T ₂ = 100 s

Paramètre utilisé par la CIPRNI	Fourchette valable de temps d'exposition (s)	Valeur
Y	$t \leq 100$	$\gamma = 11$ [mrad]
	$100 < t < 10^4$	$\gamma = 1,1 t^{0,5}$ [mrad]
	$t > 10^4$	$\gamma = 110$ [mrad]

Table 2.6

Correction pour l'exposition répétitive

Chacune des trois règles générales suivantes devrait être appliquée à toutes les expositions répétitives dues à des systèmes de laser pulsé répétitif ou des systèmes de balayage laser:

- 1) l'exposition résultant d'une impulsion unique dans un train d'impulsions ne dépasse pas la valeur limite d'exposition pour une impulsion unique de cette durée d'impulsion;
- 2) l'exposition résultant d'un groupe d'impulsions (ou d'un sous-groupe d'impulsions dans un train) délivrées dans un temps t ne dépasse pas la valeur limite d'exposition pour le temps t ;
- 3) l'exposition résultant d'une impulsion unique dans un groupe d'impulsions ne dépasse pas la valeur limite d'exposition pour une impulsion unique multipliée par un facteur de correction thermique cumulée $C_p = N^{-0,25}$, où N est le nombre d'impulsions. La présente règle ne s'applique qu'aux limites d'exposition destinées à protéger contre la lésion thermique, lorsque toutes les impulsions délivrées en moins de T_{\min} sont considérées comme une impulsion unique.

Paramètre	Gamme spectrale valable (nm)	Valeur ou description
T_{\min}	$315 < \lambda \leq 400$	$T_{\min} = 10^{-9}$ s (= 1 ns)
	$400 < \lambda \leq 1\ 050$	$T_{\min} = 18 \cdot 10^{-6}$ s (= 18 μ s)
	$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 400$	$T_{\min} = 50 \cdot 10^{-6}$ s (= 50 μ s)
	$1\ 400 < \lambda \leq 1\ 500$	$T_{\min} = 10^{-3}$ s (= 1 ms)
	$1\ 500 < \lambda \leq 1\ 800$	$T_{\min} = 10$ s
	$1\ 800 < \lambda \leq 2\ 600$	$T_{\min} = 10^{-3}$ s (= 1 ms)
	$2\ 600 < \lambda \leq 10^6$	$T_{\min} = 10^{-7}$ s (= 100 ns)

DÉCLARATION DU CONSEIL

Déclaration du Conseil relative à l'utilisation du terme «*penalties*» dans la version anglaise des instruments juridiques de la Communauté européenne.

De l'avis du Conseil, lorsque le terme «*penalties*» est utilisé dans le texte anglais des instruments juridiques de la Communauté européenne, il l'est dans un sens neutre et ne vise pas spécifiquement des sanctions pénales et pourrait également couvrir des sanctions administratives et financières, ainsi que d'autres types de sanctions. Lorsque les États membres sont obligés en vertu d'un acte communautaire d'introduire des *penalties*, il leur appartient de choisir le type approprié de sanction en conformité avec la jurisprudence de la Cour de justice des Communautés européennes.

Dans la base de données linguistique de la Communauté, le terme «*penalties*» est traduit comme suit dans d'autres langues:

en tchèque «*sankce*», en espagnol «*sanciones*», en danois «*sanktioner*», en allemand «*Sanktionen*», en estonien «*sanktsioonid*», en français «*sanctions*», en grec «*κυρώσεις*», en hongrois «*jogkövetkezmények*», en italien «*sanzioni*», en letton «*sankcijas*», en lituanien «*sankcijos*», en maltais «*penali*», en néerlandais «*sancties*», en polonais «*sankcje*», en portugais «*sanções*», en slovène «*kazni*», en slovaque «*sankcie*», en finnois «*seuraamukset*» et en suédois «*sanktioner*».

Si, dans les versions révisées anglaises des instruments juridiques où le terme «*sanctions*» était utilisé antérieurement, ce terme est remplacé par le terme «*penalties*», cela ne constitue pas une modification de fond.

Commission européenne

**Guide à caractère non contraignant pour la mise en œuvre de la directive 2006/25/CE
sur les rayonnements optiques artificiels**

Luxembourg: Office des publications de l'Union européenne

2011 — 144 p. — 21 × 29,7 cm

ISBN 978-92-79-16047-9

doi 10.2767/74345

La plupart des lieux de travail sont exposés à des sources de rayonnements optiques artificiels. La directive 2006/25/CE fixe des prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus à ces sources. Le présent guide de bonnes pratiques à caractère non contraignant en vue de la mise en œuvre de la directive 2006/25/CE identifie les applications qui comportent un risque minimal et propose des orientations concernant certaines autres applications. Il définit une méthodologie d'évaluation des risques et indique les mesures à mettre en œuvre pour une réduction des risques et une détection des effets nocifs sur la santé.

Cette publication est disponible en version papier en allemand, anglais et français et en format électronique dans toutes les langues officielles de l'UE. Un CD comprenant 22 versions linguistiques (n° cat.: KE-32-11-704-1X-Z, ISBN 978-92-79-19829-8) est également à la disposition du public.

COMMENT VOUS PROCURER LES PUBLICATIONS DE L'UNION EUROPÉENNE?

Publications gratuites:

- sur le site de l'EU Bookshop (<http://bookshop.europa.eu>);
- auprès des représentations ou des délégations de l'Union européenne.
Vous pouvez obtenir leurs coordonnées en consultant le site <http://ec.europa.eu>
ou par télécopieur au numéro +352 2929-42758.

Publications payantes:

- sur le site de l'EU Bookshop (<http://bookshop.europa.eu>).

Abonnements facturés (par exemple séries annuelles du *Journal officiel de l'Union européenne*, recueils de la jurisprudence de la Cour de justice de l'Union européenne):

- auprès des bureaux de vente de l'Office des publications de l'Union européenne
(http://publications.europa.eu/others/agents/index_fr.htm).

Les publications de la direction générale de l'emploi,
des affaires sociales et de l'inclusion vous intéressent?

Vous pouvez les télécharger ou vous abonner gratuitement:
<http://ec.europa.eu/social/publications>

Vous pouvez également vous abonner gratuitement au bulletin
d'information électronique *L'Europe sociale* de la Commission européenne:
<http://ec.europa.eu/social/e-newsletter>

<http://ec.europa.eu/social>



www.facebook.com/socialeurope



Office des publications

ISBN 978-92-79-16047-9



9 789279 160479