

# **Arrêté royal du 22 avril 2010 relatif à la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés aux rayonnements optiques artificiels sur le lieu de travail (MB 6.5.2010)**

## **Section I<sup>re</sup>. — Champ d'application et définitions**

**Article 1<sup>er</sup>.**- Le présent arrêté transpose la 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).

**Art. 2.-** Pour l'application du présent arrêté, on entend par:

- 1° la loi: la loi du 4 août 1996 relative au bien-être des travailleurs lors de l'exécution de leur travail;
- 2° danger: la propriété intrinsèque des rayonnements optiques artificiels de causer un dommage;
- 3° risque: la probabilité qu'un dommage puisse se présenter dans des conditions d'exposition aux rayonnements optiques artificiels;
- 4° exposition: la mesure dans laquelle les rayonnements optiques artificiels ont un effet sur le corps humain;
- 5° mesurage: le mesurage proprement dit, l'analyse et le calcul du résultat;
- 6° l'arrêté royal relatif à la politique du bien-être: l'arrêté royal du 27 mars 1998 relatif à la politique du bien-être des travailleurs lors de l'exécution de leur travail;
- 7° Comité: le Comité pour la prévention et la protection au travail, ou, à défaut, la délégation syndicale ou, à défaut, les travailleurs eux-mêmes, conformément aux dispositions de l'article 53 de la loi.

**Art. 3.-** Pour l'application du présent arrêté, les concepts physiques suivants sont définis de la façon suivante:

- 1° 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:
  - a) 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);
  - b) rayonnements visibles: les rayonnements optiques d'une longueur d'onde comprise entre 380 nm et 780 nm;

c) 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 (780-1400 nm), IRB (1400-3000 nm) et IRC (3000 nm - 1 mm);

2° 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;

3° rayonnements laser: les rayonnements optiques provenant d'un laser;

4° rayonnements incohérents: tous les rayonnements optiques autres que les rayonnements laser;

5° 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;

6° éclairage énergétique (E) ou densité de puissance: puissance rayonnée incidente par surface unitaire sur une surface, exprimée en watts par mètre carré ( $W m^{-2}$ );

7° exposition énergétique (H): l'intégrale de l'éclairage énergétique par rapport au temps, exprimée en joule par mètre carré ( $J m^{-2}$ );

8° 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 ( $W m^{-2} sr^{-1}$ );

9° niveau: la combinaison d'éclairage énergétique, d'exposition énergétique et de luminance énergétique à laquelle est exposé un travailleur.

**Art. 4.-** Le présent arrêté s'applique aux employeurs et aux travailleurs ainsi qu'aux personnes y assimilées, visées à l'article 2 de la loi du 4 août 1996 relative au bien-être des travailleurs lors de l'exécution de leur travail.

**Art. 5.-** Le présent arrêté 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.

## **Section II. - Valeurs limites d'exposition**

**Art. 6.-** 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<sup>re</sup>.

Les valeurs limites d'exposition pour les rayonnements laser sont fixées à l'annexe II.

## **Section III. – Analyse des risques**

**Art. 7.-** Lors de l'application des obligations visées à l'arrêté royal relatif à la politique du bien-être et notamment en ce qui concerne l'analyse des risques visées aux articles 8 et 9 de cet arrêté,

l'employeur 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.

Lors de l'évaluation, la mesure et/ou les calculs, l'employeur emploie une méthodologie qui 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'employeur effectue l'évaluation, la mesure et/ou les calculs, selon des lignes directrices d'ordre scientifique établies au niveau national ou international.

Dans les deux situations d'exposition, lors de l'évaluation, l'employeur peut tenir compte des données fournies par les fabricants des équipements lorsque ces derniers font l'objet de directives communautaires pertinentes.

**Art. 8.-** L'employeur fait appel, selon le cas, à son Service interne ou externe pour la Prévention et la Protection au Travail pour l'évaluation et le mesurage et/ou les calculs visés à l'article 7 qui sont programmés et effectués à des intervalles appropriés après avis préalable du comité.

Au cas où le Service interne ou externe pour la Prévention et la Protection au Travail ne possède pas de compétence pour l'évaluation et le mesurage et/ou calculs visés à l'alinéa 1<sup>er</sup>, l'employeur fait appel à un laboratoire agréé dont l'agrément se rapporte au mesurage des rayonnements optiques artificiels.

**Art. 9.-** Les données issues de l'évaluation, y compris celles issues du mesurage et/ou du calcul du niveau d'exposition aux rayonnements optiques artificiels sont conservées sous une forme susceptible d'en permettre la consultation à une date ultérieure.

**Art. 10.-** Dans le cadre de l'analyse des risques et des mesures de prévention qui en découlent conformément aux dispositions de l'arrêté royal relatif à la politique du bien-être, l'employeur prête une attention particulière aux éléments suivants:

- 1° le niveau, le domaine des longueurs d'onde et la durée de l'exposition à des sources artificielles de rayonnement optique;
- 2° les valeurs limites d'exposition visées à l'article 6;
- 3° toute incidence sur la santé et la sécurité des travailleurs appartenant à des groupes à risques particulièrement sensibles;
- 4° 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;

- 5° tout effet indirect tel qu'un aveuglement temporaire, une explosion ou un incendie;
- 6° l'existence d'équipements de remplacement conçus pour réduire les niveaux d'exposition à des rayonnements optiques artificiels;
- 7° une information appropriée recueillie lors de la surveillance de la santé, y compris l'information publiée, dans la mesure du possible;
- 8° l'exposition à plusieurs sources de rayonnements optiques artificiels;
- 9° 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;
- 10° l'information fournie par les fabricants de sources de rayonnement optique et d'équipements de travail associés conformément à l'arrêté royal du 12 août 2008 concernant la mise sur le marché des machines.

**Art. 11.-** L'employeur dispose d'une analyse des risques, consistant en un document écrit, conformément aux dispositions de l'arrêté royal relatif à la politique du bien-être et mentionne les mesures qui sont prises conformément aux articles 12 et 13 du présent arrêté afin d'éviter ou de diminuer l'exposition.

L'analyse des risques est accompagnée de documents sous une forme adaptée. En l'absence d'une analyse plus complète des risques, l'employeur fournit une justification écrite, dans laquelle il démontre que la nature et l'ampleur des risques liés aux rayonnements optiques la rendent inutile.

L'analyse 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.

#### **Section IV. - Dispositions visant à éviter ou à réduire les risques**

**Art. 12.-** 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 de ces risques se base sur les principes généraux de prévention figurant à l'article 5, §1<sup>er</sup> de la loi.

Lorsque l'analyse des risques effectuée conformément à l'article 7 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:

- 1° d'autres méthodes de travail nécessitant une exposition moindre aux rayonnements optiques;

- 2° le choix d'équipements émettant moins de rayonnements optiques, compte tenu du travail à effectuer;
- 3° des 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;
- 4° des programmes appropriés de maintenance des équipements de travail, du lieu de travail et des systèmes sur le poste de travail;
- 5° la conception et l'agencement des lieux et des postes de travail;
- 6° la limitation de la durée et du niveau de l'exposition;
- 7° la disponibilité d'équipements appropriés de protection individuelle;
- 8° les instructions fournies par le fabricant des équipements conformément à l'arrêté royal du 12 août 2008 concernant la mise sur le marché des machines.

**Art. 13.-** Sur la base de l'analyse des risques effectuée conformément à l'article 7, 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 l'arrêté royal du 17 juin 1997 concernant la signalisation de sécurité et de santé au travail.

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.

**Art. 14.-** L'exposition du travailleur, telle que déterminée conformément aux dispositions de l'article 7, ne peut en aucun cas dépasser les valeurs limites d'exposition visées à l'article 6.

Si, en dépit des mesures prises par l'employeur conformément au présent arrêté 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.

**Art. 15.-** En vue de pouvoir protéger des groupes à risques particulièrement sensibles contre les dangers qui leur sont spécifiques, l'employeur adapte les mesures prévues aux articles 12 à 14 aux exigences des travailleurs appartenant à ces groupes, après avis préalable du conseiller en prévention-médecin du travail.

## **Section V. - Information et formation des travailleurs**

**Art. 16.-** Sans préjudice des articles 17 à 21 de l'arrêté royal relatif à la politique du bien-être des travailleurs, l'employeur veille à ce que les travailleurs qui sont exposés sur leur lieu de travail

aux risques dus à des rayonnements optiques artificiels et le comité reçoivent des informations et une formation en rapport avec les résultats l'analyse des risques, visée à l'article 7, notamment en ce qui concerne:

- 1° les mesures prises en application du présent arrêté;
- 2° les valeurs limites d'exposition et risques potentiels associés;
- 3° 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 7, ainsi que les explications sur leur signification et sur les risques potentiels;
- 4° la manière de dépister les effets nocifs d'une exposition sur la santé et de les signaler;
- 5° les conditions dans lesquelles les travailleurs ont droit à une surveillance de la santé;
- 6° les pratiques professionnelles sûres permettant de réduire au minimum les risques résultant d'une exposition;
- 7° l'utilisation adéquate des équipements de protection individuelle appropriés.

#### **Section VI. - Consultation et participation des travailleurs**

**Art. 17.**- La consultation et la participation des travailleurs et/ou de leurs représentants ont lieu conformément aux dispositions de l'arrêté royal du 3 mai 1999 relatif aux missions et au fonctionnement des comités pour la Prévention et la Protection au travail, en ce qui concerne les matières couvertes par le présent arrêté.

#### **Section VII. - Surveillance de la santé**

**Art. 18.**- La surveillance de la santé, dont les résultats sont pris en considération pour l'application de mesures préventives sur un lieu de travail déterminé, vise à prévenir et à diagnostiquer rapidement toute affection liée à l'exposition à des rayonnements optiques.

**Art. 19.**- Les travailleurs qui sont exposés à des rayonnements optiques sont soumis à une surveillance appropriée de la santé, sauf si les résultats de l'analyse des risques ne révèlent pas de risques pour leur santé.

**Art. 20.**- Cette surveillance de la santé est appropriée lorsque:

- 1° l'exposition du travailleur à des rayonnements optiques est telle qu'on peut établir un lien entre cette exposition et une maladie identifiable ou des effets nocifs pour la santé;
- 2° il est probable que la maladie ou les effets surviennent dans les conditions de travail particulières du travailleur;
- 3° il existe des techniques éprouvées permettant de déceler la maladie ou les effets nocifs pour la santé.

**Art. 21.-** Cette surveillance appropriée de la santé est effectuée selon les dispositions de l'arrêté royal du 28 mai 2003 relatif à la surveillance de la santé des travailleurs.

**Art. 22.-** Pour chaque travailleur soumis à une surveillance de la santé conformément aux exigences de l'article 19, des dossiers de santé sont établis et tenus à jour conformément les dispositions de l'arrêté royal du 28 mai 2003 relatif à la surveillance de la santé des travailleurs.

**Art. 23.-** Dans tous les cas, lorsque l'exposition au-delà des valeurs limites est détectée, les travailleurs concernés sont soumis à un examen médical conformément aux dispositions de l'arrêté royal du 28 mai 2003 relatif à la surveillance de la santé des travailleurs.

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 que le conseiller en prévention-médecin 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 cas, visés aux alinéas 1<sup>er</sup> et 2:

1° le travailleur est informé par le conseiller en prévention-médecin du travail des résultats et des conclusions médicales 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;

2° 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;

3° l'employeur:

a) réexamine l'analyse des risques effectuée en vertu de l'article 7,

b) réexamine les mesures qu'il a adoptées en vertu des articles 12 à 15 pour éliminer ou réduire les risques,

c) prend en compte les conseils du conseiller en prévention-médecin du travail ou de toute autre personne dûment qualifiée ou du fonctionnaire chargé de la surveillance lorsqu'il met en œuvre toute mesure nécessaire pour éliminer ou réduire le risque conformément aux articles 12 à 15.

d) met en place une surveillance de santé prolongée et prévoit un réexamen de l'état de santé de tout autre travailleur qui a subi une exposition analogue. Dans de tels cas, le conseiller en prévention-médecin du travail ou le fonctionnaire chargé de la surveillance peuvent proposer que les personnes exposées soient soumises à une surveillance de la santé.

### **Section VIII. - Dispositions finales**

**Art. 24.-** *disposition abrogatoire*

**Art. 25.**- Les dispositions des articles 2 à 23 du présent arrêté constituent le chapitre V du titre IV du Code sur le bien-être au travail, avec les intitulés suivants:

1° “Titre IV: Facteurs d’environnement et agents physiques”;

2° “Chapitre V: Rayonnements optiques artificiels”.

**Art. 26.**- La Ministre qui a l’Emploi dans ses attributions est chargé de l'exécution du présent arrêté.



## 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)       | $H_{eff} = \int_0^t \int_{\lambda=180nm}^{\lambda=400nm} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$ | (La formule $H_{eff}$ n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 180 et 400 nm)   |
| b)       | $H_{UVA} = \int_0^t \int_{\lambda=315nm}^{\lambda=400nm} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$                  | (La formule $H_{UVA}$ n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 315 et 400 nm)   |
| c) et d) | $L_B = \int_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$                          | (La formule $L_B$ n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 300 et 700 nm)       |
| e) et f) | $E_B = \int_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$                          | (La formule $E_B$ n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 300 et 700 nm)       |
| g) à l)  | $L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$                                  | (Voir le tableau 1.1 pour les valeurs appropriées de $\lambda_1$ et de $\lambda_2$ )                            |
| m) et n) | $E_{IR} = \int_{\lambda=780nm}^{\lambda=3000nm} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$                                       | (La formule $E_{IR}$ n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 780 et 3000 nm)   |
| o)       | $H_{peau} = \int_0^t \int_{\lambda=380nm}^{\lambda=3000nm} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$                | (La formule $H_{peau}$ n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 380 et 3000 nm) |

Aux fins du présent arrêté, les formules précitées peuvent être remplacées par les expressions suivantes et par l'utilisation de valeurs discrètes conformément aux tableaux figurant ci-après:

a) 
$$E_{eff} = \sum_{\lambda=180nm}^{\lambda=400nm} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$
 et  $H_{eff} = E_{eff} \cdot \Delta t$

b) 
$$E_{UVA} = \sum_{\lambda=315nm}^{\lambda=400nm} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$
 et  $H_{UVA} = E_{UVA} \cdot \Delta t$

c) et d) 
$$L_B = \sum_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

e) et f) 
$$E_B = \sum_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

g) à l) 
$$L_R = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$
 (Voir le tableau 1.1 pour les valeurs appropriées de  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ )

m) et n) 
$$E_{IR} = \sum_{\lambda=780nm}^{\lambda=3000nm} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

o) 
$$E_{peau} = \sum_{\lambda=380nm}^{\lambda=3000nm} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$
 et  $H_{peau} = E_{peau} \cdot \Delta t$

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 [ $W m^{-2} nm^{-1}$ ]; les valeurs de  $E_{\lambda}(\lambda, t)$  et de  $E_{\lambda}$  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 [ $J m^{-2}$ ];

$H_{\text{eff}}$	<i>exposition énergétique efficace</i> : exposition énergétique pondérée en fonction de la longueur d'onde par $S(\lambda)$ , exprimée en joules par mètre carré [ $\text{J m}^{-2}$ ];
$E_{\text{UVA}}$	<i>éclairage énergétique total (UVA)</i> : 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 [ $\text{W m}^{-2}$ ];
$H_{\text{UVA}}$	<i>exposition énergétique</i> : 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 [ $\text{J m}^{-2}$ ];
$S(\lambda)$	<i>pondération spectrale</i> 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];
$t, \Delta t$	<i>temps, durée de l'exposition</i> , exprimés en secondes [s];
$\lambda$	<i>longueur d'onde</i> , exprimée en nanomètres [nm];
$\Delta \lambda$	<i>largeur de bande</i> , exprimée en nanomètres [nm], des intervalles de calcul ou de mesure;
$L\lambda(\lambda), L_\lambda$	<i>luminance énergétique spectrique</i> de la source exprimée en watts par mètre carré par stéradian par nanomètre [ $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{nm}^{-1}$ ];
$R(\lambda)$	<i>pondération spectrale</i> 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];
$L_R$	<i>luminance efficace (lésion par effet thermique)</i> : luminance calculée et pondérée en fonction de la longueur d'onde par $R(\lambda)$ , exprimée en watts par mètre carré par stéradian [ $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ];
$B(\lambda)$	<i>pondération spectrale</i> 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];
$L_B$	<i>luminance efficace (lumière bleue)</i> : luminance calculée et pondérée en fonction de la longueur d'onde par $B(\lambda)$ , exprimée en watts par mètre carré par stéradian [ $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ];
$E_B$	<i>éclairage énergétique efficace (lumière bleue)</i> : éclairage énergétique calculé et pondéré en fonction de la longueur d'onde par $B(\lambda)$ , exprimé en watts par mètre carré [ $\text{W m}^{-2}$ ];
$E_{\text{IR}}$	<i>éclairage énergétique total (lésion par effet thermique)</i> : éclairage énergétique calculé à l'intérieur de la gamme de longueur d'onde infrarouge comprise entre 780 et 3000 nm, exprimé en watts par mètre carré [ $\text{W m}^{-2}$ ];

- $E_{\text{peau}}$  *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 3000 nm, exprimé en watts par mètre carré [ $\text{W m}^{-2}$ ];
- $H_{\text{peau}}$  *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 3000 nm, exprimée en joules par mètre carré ( $\text{J m}^{-2}$ );
- $\alpha$  *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 en 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 m <sup>-2</sup> ]		oeil cornées conjonctive cristallin peau	photokératite conjonctivite cata- ractogénèse éry- thème élastose cancer de la peau
b)	315-400 (UVA)	$H_{\text{UVA}} = 10^4$ Valeur journalière 8 heures	[J m <sup>-2</sup> ]		oeil cristallin	cataractogénèse
c)	300-700 (Lumière bleue) (1)	$L_B = \frac{10^6}{t}$ pour $t \leq 10000$ s	$L_B$ : [W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ] t: [secondes]	pour $\alpha \geq 11$ mrad	oeil rétine	photorétinite
d)	300-700 (Lumière bleue) (1)	$L_B = 100$ pour $t > 10000$ s	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]			
e)	300-700 (Lumière bleue) (1)	$E_B = \frac{100}{t}$ pour $t \leq 10000$ s	$E_B$ : [W m <sup>-2</sup> ] t: [secondes]	pour $\alpha < 11$ mrad (2)		
f)	300-700 (Lumière bleue) (1)	$E_B = 0,01$ t > 10 000 s	[W m <sup>-2</sup> ]			

Index	Longueur d'onde en nm	Valeur limite d'exposition	Unités	Observation	Partie du corps	Risque
g)	380-1400 (Visible et IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}$ pour $t > 10$ s	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]	$C_\alpha = 1,7$ pour $\alpha \leq 1,7$ mrad  $C_\alpha = \alpha$ pour	oeil rétine	brûlure rétinienne
h)	380-1400 (Visible et IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$ 10 μs ≤ t ≤ 10 s	L <sub>R</sub> : [W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ] t: [secondes]	1,7 ≤ α ≤ 100 mrad  $C_\alpha = 100$ pour α > 100 mrad λ <sub>1</sub> = 380; λ <sub>2</sub> = 1400		
i)	380-1400 (Visible et IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ pour t < 10 μs	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]			
j)	780-1400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha}$ pour t > 10 s	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]	$C_\alpha = 11$ pour α ≤ 11 mrad  $C_\alpha = \alpha$ pour	oeil rétine	brûlure rétinienne
k)	780-1400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$ pour 10 μs ≤ t ≤ 10 s	L <sub>R</sub> : [W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ] t: [secondes]	11 ≤ α ≤ 100 mrad  $C_\alpha = 100$ pour α > 100 mrad (champ de mesure: 11 mrad)		
l)	780-1400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ pour t < 10 μs	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]	λ <sub>1</sub> = 780; λ <sub>2</sub> = 1400		

Index	Longueur d'onde en nm	Valeur limite d'exposition	Unités	Observation	Partie du corps	Risque
m)	780-3000 (IRA et IRB)	$E_{IR} = 18000 t^{-0,75}$ pour $t \leq 1000$ s	E: [ $W m^{-2}$ ] t: [secondes]		oeil cornée cristallin	brûlure cornéenne cataractogénèse
n)	780-3000 (IRA et IRB)	$E_{IR} = 100$ pour $t > 1000$ s	[ $W m^{-2}$ ]			
o)	380-3000 (Visible, IRA et IRB)	$H_{peau} = 20000 t^{0,25}$ pour $t < 10$ 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:  $t_{max} = 100 / E_B$ ,  $E_B$  s'exprimant en  $W m^{-2}$ . Du fait des mouvements des yeux lors de tâches visuelles normales, cette durée n'excède pas 100 s.

Tableau 1.2  
**S ( $\lambda$ ) [sans dimension], 180 nm à 400 nm**

$\lambda$ en nm	S ( $\lambda$ )	$\lambda$ en nm	S ( $\lambda$ )	$\lambda$ en nm	S ( $\lambda$ )	$\lambda$ en nm	S ( $\lambda$ )	$\lambda$ en nm	S ( $\lambda$ )
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 ( $\lambda$ ), R ( $\lambda$ ) [sans dimension], 380 nm à 1400 nm**

$\lambda$ en nm	B ( $\lambda$ )	R ( $\lambda$ )
$300 \leq \lambda < 380$	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
$500 < \lambda \leq 600$	$10^{0,02 \cdot (450 - \lambda)}$	1
$600 < \lambda \leq 700$	0,001	1
$700 < \lambda \leq 1050$	—	$10^{0,002 \cdot (700 - \lambda)}$
$1050 < \lambda \leq 1150$	—	0,2
$1150 < \lambda \leq 1200$	—	$0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1150 - \lambda)}$
$1200 < \lambda \leq 1400$	—	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.

$$E = \frac{dP}{dA} [Wm^{-2}]$$

$$H = \int_0^t E(t).dt [Jm^{-2}]$$

Notes:

dP      *puissance* exprimée en watts [W];

dA      *surface* exprimée en mètres carrés [m<sup>2</sup>];

E (t), E      *éclairage énergétique ou densité de puissance*: puissance rayonnée incidente par surface unitaire sur une surface, généralement exprimée en watts par mètres carrés [W m<sup>-2</sup>]. 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<sup>-2</sup>];

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<sub>m</sub>      *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 surface unitaire d'une surface rayonnante et par angle solide unitaire d'émission, en joules par mètre carré par stéradian [J m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup>].

Tableau 2.1  
**Risques associés aux rayonnements**

Longueur d'onde [nm] $\lambda$	Région du spectre	Organe atteint	Risque	Tableaux dans lesquels figurent les valeurs limites d'exposition
180 à 400	UV	oeil	lésion photo-chimique et lésion thermique	2.2 et 2.3
180 à 400	UV	peau	erythème	2.4
400 à 700	visible	oeil	lésion de la rétine	2.2
400 à 600	visible	oeil	lésion photo-chimique	2.3
400 à 700	visible	peau	lésion thermique	2.4
700 à 1400	IRA	oeil	lésion thermique	2.2 et 2.3
700 à 1400	IRA	peau	lésion thermique	2.4
1400 à 2600	IRB	oeil	lésion thermique	2.2
2600 à $10^6$	IRC	oeil	lésion thermique	2.2
1400 à $10^6$	IRB, IRC	oeil	lésion thermique	2.3
1400 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 <sup>(a)</sup> [nm]		Diaphragme limite	Durée [s]						
			10 <sup>-13</sup> -10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-11</sup> -10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-9</sup> -10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-7</sup> -1,8.10 <sup>-5</sup>	1,8.10 <sup>-5</sup> -5.10 <sup>-5</sup>	5.10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>1</sup>
UVC	180-280	1 mm pour t<0,3 s; 1,5.t <sup>0,375</sup> pour 0,3<t<10 s	E=3.10 <sup>10</sup> [W m <sup>-2</sup> ] <sup>(c)</sup>			H=30 [J m <sup>-2</sup> ]			
UVB	280-302								
	303								H=40 [J m <sup>-2</sup> ]; si t<2,6.10 <sup>-9</sup> alors H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] <sup>(d)</sup>
	304								H=60 [J m <sup>-2</sup> ]; si t<1,3.10 <sup>-8</sup> alors H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] <sup>(d)</sup>
	305								H=100 [J m <sup>-2</sup> ]; si t<1,0.10 <sup>-7</sup> alors H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] <sup>(d)</sup>
	306								H=160 [J m <sup>-2</sup> ]; si t<6,7.10 <sup>-7</sup> alors H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] <sup>(d)</sup>
	307								H=250 [J m <sup>-2</sup> ]; si t<4,0.10 <sup>-6</sup> alors H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] <sup>(d)</sup>
	308								H=400 [J m <sup>-2</sup> ]; si t<2,6.10 <sup>-5</sup> alors H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] <sup>(d)</sup>
	309								H=630 [J m <sup>-2</sup> ]; si t<1,6.10 <sup>-4</sup> alors H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] <sup>(d)</sup>
	310								H=10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]; si t<1,0.10 <sup>-3</sup> alors H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] <sup>(d)</sup>
	311								H=1,6. 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]; si t<6,7.10 <sup>-3</sup> alors H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] <sup>(d)</sup>
	312								H=2,5. 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]; si t<4,0.10 <sup>-2</sup> alors H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] <sup>(d)</sup>
	313								H=4,0. 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]; si t<2,6.10 <sup>-1</sup> alors H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] <sup>(d)</sup>
	314								H=6,3. 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]; si t<1,6.10 <sup>0</sup> alors H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] <sup>(d)</sup>
UVA	315-400		H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ]						
Visibles et IRA	400-700	7 mm	H=1,5.10 <sup>-4</sup> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]	H=2,7.10 <sup>4</sup> t <sup>0,75</sup> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]	H=5.10 <sup>-3</sup> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]		H=18 t <sup>0,75</sup> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]		
	700-1050		H=1,5.10 <sup>-4</sup> C <sub>A</sub> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]	H=2,7.10 <sup>4</sup> t <sup>0,75</sup> C <sub>A</sub> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]	H=5.10 <sup>-3</sup> C <sub>A</sub> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]		H=18 t <sup>0,75</sup> C <sub>A</sub> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]		
	1050-1400		H=1,5.10 <sup>-3</sup> C <sub>C</sub> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]	H=2,7.10 <sup>5</sup> t <sup>0,75</sup> C <sub>C</sub> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]	H=5.10 <sup>-2</sup> C <sub>C</sub> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]			H=90 t <sup>0,75</sup> C <sub>C</sub> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]	
IRB et IRC	1400-1500	<sup>(b)</sup>	E=10 <sup>12</sup> [W m <sup>-2</sup> ] <sup>(c)</sup>		H=10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]			H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ]	
	1500-1800		E=10 <sup>13</sup> [W m <sup>-2</sup> ] <sup>(c)</sup>		H=10 <sup>4</sup> [J m <sup>-2</sup> ]				
	1800-2600		E=10 <sup>12</sup> [W m <sup>-2</sup> ] <sup>(c)</sup>		H=10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]			H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ]	
	2600-10 <sup>6</sup>		E=10 <sup>11</sup> [W m <sup>-2</sup> ] <sup>(c)</sup>		H=100 [J m <sup>-2</sup> ]	H=5,6.10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ]			

<sup>(a)</sup> Si la longueur d'onde du laser correspond à deux limites, la limite la plus restrictive s'applique.

<sup>(b)</sup> si  $1400 \leq \lambda < 10^5$  nm: diamètre de diaphragme limite = 1 mm pour  $t \leq 0,3$  s et  $1,5 t^{0,375}$  mm pour  $0,3 < t < 10$  s; si  $10^5 \leq \lambda < 10^6$  nm: diamètre de diaphragme limite = 11 mm.

<sup>(c)</sup> Faute de données pour ces durées d'impulsion, la CIPRNI recommande l'utilisation des limites de luminance énergétiques pour 1 ns.

<sup>(d)</sup> 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:  $5,6.10^3 t^{0,25}$ .

Tableau 2.3

Valeurs limites d'exposition de l'œil au laser - Exposition de longue durée  $\geq 10$  s

Longueur d'onde <sup>(a)</sup> [nm]		Diaphragme limite	Durée [s]			
			$10^1 - 10^2$	$10^2 - 10^4$	$10^4 - 3.10^4$	
UVC	180-280	3,5 mm	H=30 [J m <sup>-2</sup> ]			
UVB	280-302					
	303					H=40 [J m <sup>-2</sup> ]
	304					H=60 [J m <sup>-2</sup> ]
	305					H=100 [J m <sup>-2</sup> ]
	306					H=160 [J m <sup>-2</sup> ]
	307					H=250 [J m <sup>-2</sup> ]
	308					H=400 [J m <sup>-2</sup> ]
	309					H=630 [J m <sup>-2</sup> ]
	310					H=1,0.10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]
	311					H=1,6. 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]
	312					H=2,5. 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]
	313					H=4,0. 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]
	314					H=6,3. 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]
UVA	315-400		H=10 <sup>4</sup> [J m <sup>-2</sup> ]			
Visible 400-700	400-600 Lésion photochimique <sup>(b)</sup> de la rétine	7mm	H=100 C <sub>B</sub> [J m <sup>-2</sup> ] ( $\gamma = 11$ mrad) <sup>(d)</sup>	E=1 C <sub>B</sub> [W m <sup>-2</sup> ] ( $\gamma = 1,1 t^{0,5}$ mrad) <sup>(d)</sup>	E=1 C <sub>B</sub> [W m <sup>-2</sup> ] ( $\gamma = 110$ mrad) <sup>(d)</sup>	
	400-700 Lésion thermique <sup>(b)</sup> de la rétine		si $\alpha < 1,5$ mrad, alors E = 10 [W m <sup>-2</sup> ] si $\alpha > 1,5$ mrad et $t \leq T_2$ , alors H= 18 C <sub>E</sub> t <sup>0,75</sup> C <sub>A</sub> [J m <sup>-2</sup> ] si $\alpha > 1,5$ mrad et $t > T_2$ , alors E= 18 C <sub>E</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0,25</sup> [W m <sup>-2</sup> ]			
IRA	700-1400	7 mm	si $\alpha < 1,5$ mrad, alors E = 10 C <sub>A</sub> C <sub>C</sub> [W m <sup>-2</sup> ] si $\alpha > 1,5$ mrad et $t \leq T_2$ , alors H= 18 C <sub>A</sub> C <sub>C</sub> C <sub>E</sub> t <sup>0,75</sup> [J m <sup>-2</sup> ] si $\alpha > 1,5$ mrad et $t > T_2$ , alors E= 18 C <sub>A</sub> C <sub>C</sub> C <sub>E</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0,25</sup> [W m <sup>-2</sup> ] (ne doit pas être supérieur à 1000 W m <sup>-2</sup> )			
IRB et IRC	1400-10 <sup>6</sup>	<sup>(c)</sup>	E = 1000[W m <sup>-2</sup> ]			

<sup>(a)</sup> Si la longueur d'onde ou un autre paramètre du laser correspond à deux limites, la plus restrictive s'applique.

<sup>(b)</sup> 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  $10s \leq t < T_1$  et aux limites photochimiques pour les durées supérieures. Pour T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub> 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  $G = 10^6 C_B [J m^2 sr^{-1}]$  pour  $t > 10$  s à  $t = 10000$  s et  $L = 100 C_B [W m^2 sr^{-1}]$  pour  $t > 10000$  s. Pour la mesure de G et L il faut utiliser  $\gamma_m$  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 G est utilisé par le CEN, le symbole L<sub>r</sub> est utilisé par la CIE et le symbole L<sub>p</sub> est utilisé par CIE et le CENELEC.)

<sup>(c)</sup> Pour les longueurs d'onde de 1400 à 10<sup>5</sup> nm: diamètre de diaphragme limite = 3,5 mm; Pour les longueurs d'onde 10<sup>5</sup> - 10<sup>6</sup> nm: diamètre de diaphragme limite = 11 mm

<sup>(d)</sup> Pour la mesure de la valeur d'exposition, la prise en compte de  $\gamma$  est définie de la façon suivante: si  $\alpha$  (angle apparent de la source)  $> \gamma$  (angle de cône de limitation, indiqué entre crochets dans la colonne correspondante), alors le champ de mesure  $\gamma_m$  devrait être la valeur indiquée pour  $\gamma$  (si un champ de mesure plus grand était utilisé, le risque serait surestimé).

Si  $\alpha < \gamma$ , le champ de mesure  $\gamma_m$  doit être suffisamment grand pour englober entièrement la source, mais il n'est pas limité et peut être plus grand que  $\gamma$ .

Tableau 2.4  
Valeurs limites d'exposition de la peau au laser

Longueur d'onde <sup>(a)</sup> [nm]		Diaphragme limite	Durée [s]					
			<10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-9</sup> -10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup> -10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> -3.10 <sup>4</sup>
UV (A,B,C)	180-400	3,5 mm	E=3.10 <sup>10</sup> [W m <sup>-2</sup> ]	Voir limites d'exposition de l'oeil				
Visible et IRA	400-700	3,5 mm	E=2.10 <sup>11</sup> [W m <sup>-2</sup> ]	H=200 C <sub>A</sub> [J m <sup>-2</sup> ]	H=1,1. 10 <sup>4</sup> C <sub>A</sub> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ]	E=2. 10 <sup>3</sup> C <sub>A</sub> [W m <sup>-2</sup> ]		
	700-1400		E=2.10 <sup>11</sup> C <sub>A</sub> [W m <sup>-2</sup> ]					
IRB et IRC	1400-1500		E=10 <sup>12</sup> [W m <sup>-2</sup> ]	Voir limites d'exposition de l'oeil				
	1500-1800		E=10 <sup>13</sup> [W m <sup>-2</sup> ]					
	1800-2600	E=10 <sup>12</sup> [W m <sup>-2</sup> ]						
	2600-10 <sup>6</sup>	E=10 <sup>11</sup> [W m <sup>-2</sup> ]						

<sup>(a)</sup> 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
$C_A$	$\lambda < 700$	$C_A = 1,0$
	700-1050	$C_A = 10^{0,002(\lambda - 700)}$
	1050-1400	$C_A = 5,0$
$C_B$	400-450	$C_B = 1,0$
	450-700	$C_B = 10^{0,02(\lambda - 450)}$
$C_C$	700-1150	$C_C = 1,0$
	1150-1200	$C_C = 10^{0,018(\lambda - 1150)}$
	1200-1400	$C_C = 8,0$
$T_1$	$\lambda < 450$	$T_1 = 10 \text{ s}$
	450-500	$T_1 = 10 \cdot [10^{0,02(\lambda - 450)}] \text{ s}$
	$\lambda > 500$	$T_1 = 100 \text{ s}$
Paramètre utilisé par la CIPRNI	Valable pour les effets biologiques	Valeur
$\alpha_{\min}$	tous les effets thermiques	$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$
Paramètre utilisé par la CIPRNI	Gamme angulaire valable (mrad)	Valeur
$C_E$	$\alpha < \alpha_{\min}$	$C_E = 1,0$
	$\alpha_{\min} < \alpha < 100$	$C_E = \alpha / \alpha_{\min}$
	$\alpha > 100$	$C_E = \alpha^2 / (\alpha_{\min} \cdot \alpha_{\max}) \text{ mrad}$ avec $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$
$T_2$	$\alpha < 1,5$	$T_2 = 10 \text{ s}$
	$1,5 < \alpha < 100$	$T_2 = 10 \cdot [10^{(\alpha - 1,5) / 98,5}] \text{ s}$
	$\alpha > 100$	$T_2 = 100 \text{ s}$
Paramètre utilisé par la CIPRNI	Fourchette valable de temps d'exposition (s)	Valeur
$\gamma$	$t \leq 100$	$\gamma = 11 \text{ [mrad]}$
	$100 < t < 10^4$	$\gamma = 1,1 t^{0,5} \text{ [mrad]}$
	$t > 10^4$	$\gamma = 110 \text{ [mrad]}$

Tableau 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:

- a. 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;
- b. 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  $t$ ;
- c. 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)
	$400 < \lambda \leq 1050$	$T_{\min} = 18 \cdot 10^{-6}$ s (= 18 $\mu$ s)
	$1050 < \lambda \leq 1400$	$T_{\min} = 50 \cdot 10^{-6}$ s (= 50 $\mu$ s)
	$1400 < \lambda \leq 1500$	$T_{\min} = 10^{-3}$ s (= 1 ms)
	$1500 < \lambda \leq 1800$	$T_{\min} = 10$ s
	$1800 < \lambda \leq 2600$	$T_{\min} = 10^{-3}$ s (= 1 ms)
	$2600 < \lambda \leq 10^6$	$T_{\min} = 10^{-7}$ s (= 100 ns)