

Règlement grand-ducal du 26 juillet 2010

1. 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.

Nous Henri, Grand-Duc de Luxembourg, Duc de Nassau,

Vu les articles L. 311-1 à 314-4 et L. 321-1 à 322-3 du Code du Travail;

Vu 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);

Vu les avis de la Chambre de Commerce, de la Chambre de Travail et de la Chambre des Employés Privés;

Vu les demandes d'avis adressées à la Chambre des Métiers et à la Chambre d'Agriculture;

Notre Conseil d'Etat entendu;

De l'assentiment de la Conférence des Présidents de la Chambre des Députés;

Sur le rapport de Notre Ministre du Travail, de l'Emploi et de l'Immigration et de Notre Ministre de la Santé et après délibération du Gouvernement en Conseil;

Arrêtons:

Art. 1^{er}. Objectif et champ d'application

1. Le présent règlement grand-ducal fixe des prescriptions minimales en matière de protection des salariés contre les risques pour leur santé et leur sécurité résultant ou susceptibles de résulter d'une exposition à des rayonnements optiques artificiels respectivement au rayonnement solaire durant leur travail.

2. Le présent règlement grand-ducal porte sur les risques qu'entraînent, pour la santé et la sécurité des salariés, les effets nocifs sur les yeux et sur la peau de l'exposition à des rayonnements optiques artificiels respectivement au rayonnement solaire.

Art. 2. Définitions

Aux fins du présent règlement grand-ducal, 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 (1 400-3000 nm) et IRC (3000 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 salariés 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 salarié.

Art. 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.

Art. 4. Détermination de l'exposition et évaluation des risques

1. En exécutant les obligations définies à l'article L. 312-2 paragraphe (4) et à l'article L. 312-5 paragraphe (1) du Code du Travail, l'employeur, dans le cas des salariés exposés à des sources artificielles de rayonnement optique, évalue et, si nécessaire, mesure respectivement calcule les niveaux de rayonnement optique auxquels les salariés 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 respectivement les calculs est conforme aux normes de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) en ce qui concerne les rayonnements laser et aux recommandations de la Commission Internationale de l'Eclairage (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 respectivement 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 doit tenir compte des données fournies par les fabricants des équipements lorsque ces derniers font l'objet de législations pertinentes.

2. L'évaluation, la mesure et 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 L. 312-3 et 312-7 du Code du Travail concernant les personnes ou services compétents nécessaires ainsi que la consultation et la participation des salariés. Les données issues de l'évaluation, y compris celles issues de la mesure respectivement du calcul du niveau d'exposition visé au paragraphe 1 sont conservées par l'employeur sous forme de papier pendant une durée de 30 ans au moins. Si l'employeur cesse d'exister, et la conservation des données ne peut être garantie, ces données sont à transmettre à l'Association d'Assurance contre les Accidents qui les conserve pendant une durée de 30 ans.

3. Conformément à l'article L. 312-2, paragraphe (4) du Code du Travail, 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 du présent règlement grand-ducal;
- c) toute incidence sur la santé et la sécurité des salariés appartenant à des groupes à risques particulièrement sensibles;
- d) toute incidence éventuelle sur la santé et la sécurité des salariés 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 législations applicables.

4. L'employeur doit disposer d'une évaluation des risques conformément à l'article L.312-5 paragraphe (1) point 1 du Code du Travail, et il identifie les mesures à prendre conformément aux articles 5 à 7 du présent règlement grand-ducal. L'évaluation des risques est consignée sous forme écrite et doit comprendre les éléments suivants:

- une description du poste de travail;
- une description de l'exposition;
- l'évaluation et/ou la mesure du niveau d'exposition à des sources artificielles de rayonnement optique;
- les points énumérés au point 3. du présent article;
- des éléments apportés par l'employeur pour faire valoir que la nature et l'ampleur des risques liés au rayonnement optique artificiel ne justifient pas une évaluation plus complète des risques;
- les mesures prises pour éviter les risques ou réduire au minimum les risques résultant du rayonnement optique artificiel tels que décrits à l'article 5;
- les mesures prises pour diminuer les risques, notamment à la source;
- la date de l'évaluation ou de sa dernière mise à jour;
- le nom, la fonction et la qualification de la ou des personnes qui ont procédé à l'évaluation des risques, ainsi que leur signature;
- le nom et la signature du travailleur désigné;
- la signature de l'employeur ou de la personne pouvant engager l'employeur.

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.

5. L'employeur doit évaluer l'exposition des salariés au rayonnement solaire selon les dispositions de l'article L.312-5 paragraphe (1) point 1 du Code du Travail en suivant les critères applicables au rayonnement solaire des paragraphes 2 à 4 ci-dessus.

Art. 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 et au rayonnement solaire sont éliminés ou réduits au minimum.

La réduction des risques résultant de l'exposition à des rayonnements optiques artificiels respectivement au rayonnement solaire repose sur les principes généraux de prévention figurant aux articles L. 311-1 à 314-4 du Code du Travail.

2. Lorsque l'évaluation des risques effectuée conformément à l'article 4, paragraphe 1, pour les salariés 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 organisationnelles destinées à prévenir l'exposition excédant les valeurs limites, tenant compte le cas échéant notamment des éléments suivants:

- a) autres méthodes de travail réduisant le risque dû aux rayonnements optiques artificiels;
- 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 législations pertinentes.

3. Sur la base de l'évaluation des risques effectuée conformément à l'article 4, les lieux de travail où les salariés 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 au règlement grand-ducal du 28 mars 1995 concernant les prescriptions minimales pour la signalisation de sécurité et/ou de santé au travail. Ces lieux sont circonscrits et leur accès est limité lorsque c'est techniquement possible et que le risque d'un dépassement des valeurs limites d'exposition existe.

4. L'exposition des salariés ne doit en aucun cas dépasser les valeurs limites d'exposition. Si, en dépit des mesures prises par l'employeur pour se conformer au présent règlement grand-ducal 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 L. 314-1 du Code du Travail, l'employeur adapte les mesures prévues au présent article aux besoins des salariés appartenant à des groupes à risques particulièrement sensibles.

6. Sur la base de l'évaluation des risques effectuée conformément à l'article 4, l'employeur organise les travaux de façon à limiter le plus possible l'exposition de ses salariés au rayonnement solaire pouvant engendrer un danger pour leur sécurité respectivement pour leur santé, en tenant compte des éléments suivants:

- a) autres méthodes de travail réduisant le risque dû au rayonnement solaire;
- b) conception et agencement des lieux et postes de travail;
- c) maintenance appropriée des lieux de travail ainsi que des postes de travail ;
- d) limitation de la durée et du niveau de l'exposition;
- e) disponibilité d'équipements appropriés de protection collective respectivement de protection individuelle.

Art. 6. Protection individuelle

1. Si d'autres moyens ne permettent pas d'éviter les risques dus à l'exposition aux sources de rayonnement artificielles, des équipements de protection individuelle, appropriés et correctement adaptés, sont mis à la disposition des salariés et utilisés par ceux-ci conformément aux dispositions du règlement grand-ducal du 4 novembre 1994 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé pour l'utilisation par les salariés au travail d'équipements de protection individuelle et de l'article L. 313-1 paragraphe (2) point 2 du Code du Travail.

2. Les équipements de protection individuelle sont choisis de façon à éliminer le risque pour la peau et les yeux ou à le réduire le plus possible.

3. L'employeur tient une liste

- des salariés qui doivent porter des équipements de protection individuelle pour les protéger contre le rayonnement optique artificiel,
- des salariés exposés au rayonnement solaire pendant une durée minimale d'exposition de 240 heures par an. L'employeur établit cette liste en collaboration avec le médecin du travail en charge de son entreprise respectivement de son établissement,
- reprenant les travaux spécifiques qui demandent le port d'équipements de protection individuelle.

4. L'employeur s'efforce de faire respecter le port des équipements de protection individuelle et est tenu de vérifier l'efficacité des mesures prises en application du présent article.

5. Dans le cadre du présent règlement grand-ducal, sont considérés comme équipements de protection individuelle, les équipements visés par le règlement grand-ducal modifié du 10 août 1992 relatif aux équipements de protection individuelle.

Art. 7. Information et formation des salariés

Sans préjudice des articles L. 312-6 et L. 312-8 du Code du Travail, l'employeur veille à ce que les salariés qui sont exposés aux risques dus à des rayonnements optiques artificiels respectivement au rayonnement solaire sur leur lieu de travail et leurs représentants reçoivent les informations et la formation nécessaires en rapport avec les résultats de l'évaluation des risques prévue à l'article 4 du présent règlement grand-ducal, notamment en ce qui concerne:

- a) les mesures prises en application du présent règlement grand-ducal;
- b) les valeurs limites d'exposition et risques potentiels associés;
- c) les résultats de l'évaluation, de la mesure et des calculs des niveaux d'exposition aux rayonnements optiques artificiels et au rayonnement solaire effectués en application de l'article 4 du présent règlement grand-ducal, 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 salariés 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.

Art. 8. Consultation et participation des salariés

La consultation et la participation des salariés et de leurs représentants ont lieu conformément à l'article L. 312-7 du Code du Travail en ce qui concerne les matières couvertes par le présent règlement grand-ducal.

Art. 9. 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 respectivement au rayonnement solaire, la surveillance de la santé des salariés est effectuée conformément aux articles L. 312-1 à L. 327-2 du Code du Travail respectivement au règlement grand-ducal modifié du 17 juin 1997 concernant la périodicité des examens médicaux en matière de médecine du travail en rapport avec le résultat de l'évaluation des risques prévue à l'article 4 du présent règlement grand-ducal lorsqu'il révèle un risque pour leur santé.

2. Les documents établis lors de la surveillance médicale sont introduits au dossier médical qui est géré tel que décrit à l'article 7 du règlement grand-ducal du 2 avril 1996 relatif au personnel, aux locaux et à l'équipement des services de santé au travail. Ces contrôles médicaux ont pour objectif le diagnostic d'une maladie pouvant résulter d'une exposition à des rayonnements optiques artificiels respectivement au rayonnement solaire sur les lieux de travail.

3. Les médecins de la Direction de la santé, Division de la santé au travail obtiennent sur simple demande une copie des dossiers médicaux mentionnés au paragraphe 2, dans le respect des exigences de confidentialité. L'employeur prend les mesures adéquates afin de garantir que le médecin responsable de la surveillance de la santé, les médecins de la Direction de la santé Division de la santé au travail, les inspecteurs du travail de l'Inspection du travail et des mines, ont 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 salarié a individuellement accès, à sa demande, aux dossiers de santé qui le concernent personnellement.

4. Dans tous les cas, lorsque l'exposition au-delà des valeurs limites est détectée, un examen médical est proposé au(x) salarié(s) concerné(s) conformément à l'article L. 326-1 du Code du Travail. Cet examen médical est également effectué lorsqu'il ressort de la surveillance dont sa santé a fait l'objet qu'un salarié 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 respectivement au rayonnement solaire 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 salarié 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;
- informe l'Inspection du travail et des mines conformément à l'article L. 614-11.2 du Code du Travail;
- informe l'Association d'Assurance contre les Accidents;
- prend en compte les conseils du médecin du travail, des médecins de la direction de la santé division de la santé au travail, des inspecteurs de l'Inspection du travail et des mines ou de toute autre personne dûment qualifiée, lorsqu'il met en œuvre des mesures nécessaires pour éliminer ou réduire le risque conformément à l'article 5;
- met en place une surveillance médicale continue et prévoit un réexamen de l'état de santé de tout autre salarié qui a subi une exposition analogue. Dans de tels cas, le médecin ou spécialiste de la médecine du travail compétent, les médecins de la direction de la santé division de la santé au travail, les inspecteurs de l'Inspection du travail et des mines peuvent exiger que les personnes exposées soient soumises à un examen médical.

Art. 10. Comité

L'Inspection du travail et des mines est appelée à représenter le Grand-duché de Luxembourg dans le comité visé à l'article 17 paragraphe 2, de la directive 89/391/CEE.

Art. 11. Rapports

Tous les cinq ans, le Ministre ayant le travail dans ses attributions soumet à la Commission un rapport sur la mise en œuvre pratique du présent règlement grand-ducal, indiquant le point de vue des partenaires sociaux.

Art. 12. Dispositions modificatives

Le règlement grand-ducal modifié du 17 juin 1997 concernant la périodicité des examens médicaux en matière de médecine du travail est modifié comme suit:

1. Le sous-point b) du point 2 du chapitre II de l'annexe est supprimé, et le point 2. est renuméroté en conséquence.
2. Les nouveaux points 8 et 9 sont ajoutés au chapitre II de l'annexe:

8. Exposition au rayonnement optique artificiel:

Une surveillance périodique s'impose tous les 24 mois pour les salariés exposés à un rayonnement optique artificiel si élevé que le port de protection individuelle est nécessaire conformément au règlement grand-ducal du 26 juillet 2010 1. 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 au 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. A cette fin les listes déterminées à l'article 6 point 3 du règlement grand-ducal précité est à consulter. Pour les salariés manipulant des installations à laser des classes 3B et 4 suivant la norme européenne EN 60825, la période susmentionnée est réduite à 12 mois.

9. Exposition au rayonnement solaire:

Une surveillance périodique s'impose tous les 24 mois pour les salariés exposés au rayonnement solaire pendant une durée minimale d'exposition de 240 heures par an. A cette fin la liste déterminée à l'article 6 point 3, 2^{ème} tiret du règlement grand-ducal précité est à consulter.

Art. 13. Dispositions finales

1. Le présent règlement grand-ducal entre en vigueur 6 mois après sa publication au Mémorial.
2. Le ministre ayant le travail dans ses attributions informe la Commission européenne dès la publication au Mémorial du présent règlement grand-ducal, ainsi que de toute autre réglementation adoptée dans le domaine régi par le présent règlement grand-ducal.
3. Le présent règlement grand-ducal comprend 2 annexes qui en font partie intégrante.

Art. 14. Exécution

Notre Ministre du Travail, de l'Emploi et de l'Immigration et Notre Ministre de la Santé sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent règlement qui sera publié au Mémorial.

*Le Ministre du Travail, de l'Emploi
et de l'Immigration,*
Nicolas Schmit

Le Ministre de la Santé,
Mars Di Bartolomeo

Cabasson, le 26 juillet 2010.
Henri

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)	$L_B = \int_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=700\text{nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$	(La formule L_B n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 300 et 700 nm)
e), f)	$E_B = \int_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=700\text{nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$	(La formule E_B n'est applicable que pour le domaine de longueurs d'onde comprises entre 300 et 700 nm)
g) à l)	$L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$	(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 du présent règlement grand-ducal, 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)	$E_{\text{peau}} = \sum_{\lambda=280\text{nm}}^{\lambda=3000\text{nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	et $H_{\text{peau}} = E_{\text{peau}} \cdot \Delta t$

Notes:

- $E_{\lambda}(\lambda, t)$, E_{λ} *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 , Δt *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_{λ} *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	<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 [W m^{-2}];
E_{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 3 000 nm, exprimé en watts par mètre carré [W m^{-2}];
E_{peau}	<i>éclairage énergétique total (visible, IRA et IRB)</i> : 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}	<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 visible et infrarouge comprise entre 380 et 3 000 nm, exprimée en joules par mètre carré [J m^{-2}];
α	<i>angle apparent</i> : 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

Inde x.	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 m ⁻²]		œil cornée conjonctive cristallin peau	photokératite conjonctivite cataractogénèse érythème élastose cancer de la peau cataractogénèse
b.	315-400 (UVA)	$H_{\text{UVA}} = 10^4$ Valeur journalière 8 heures	[J m ⁻²]		œil cristallin	
c.	300-700 (Lumière bleue) <i>voir note 1</i>	$L_B = \frac{10^6}{t}$ pour $t \leq 10\,000$ s $L_B = 100$ pour $t > 10\,000$ s	L_B : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [secondes]	pour $\alpha \geq 11$ mrad		
d.	300-700 (Lumière bleue) <i>voir note 1</i>	$L_B = 100$ pour $t > 10\,000$ s	[W m ⁻² sr ⁻¹]			
e.	300-700 (Lumière bleue) <i>voir note 1</i>	$E_B = \frac{100}{t}$ pour $t \leq 10\,000$ s $E_B = 0,01$ pour $t > 10\,000$ s	E_B : [W m ⁻²] t: [secondes]	pour $\alpha < 11$ mrad <i>voir note 2</i>	œil rétine	photorétinite
f.	300-700 (Lumière bleue) <i>voir note 1</i>	$E_B = 0,01$ pour $t > 10\,000$ s	[W m ⁻²]			
g.	380-1 400 (Visible et IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}$ pour $t > 10$ s	[W m ⁻² sr ⁻¹]	$C_\alpha = 1,7$ pour $\alpha \leq 1,7$ mrad $C_\alpha = \alpha$ pour $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_\alpha = 100$ pour $\alpha > 100$ mrad		
h.	380-1 400 (Visible et IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$ pour $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10$ s	L_R : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [secondes]	$\lambda_1 = 380$; $\lambda_2 = 1\,400$	œil rétine	brûlure rétinienne
i.	380-1 400 (Visible et IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ pour $t < 10 \mu\text{s}$	[W m ⁻² sr ⁻¹]			

Inde X.	Longueur d'onde nm	Valeur limite d'exposition	Unités	Observation	Partie du corps	Risque
j.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha}$ pour $t > 10$ s	$[W m^{-2} sr^{-1}]$	$C_\alpha = 11$ pour $\alpha \leq 11$ mrad $C_\alpha = \alpha$ pour $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_\alpha = 100$ pour $\alpha > 100$ mrad (champ de mesure: 11 mrad)		
k.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$ pour $10 \mu s \leq t \leq 10$ s	$L_R: [W m^{-2} sr^{-1}]$ t: [secondes]			
l.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ pour $t < 10 \mu s$	$[W m^{-2} sr^{-1}]$	$\lambda_1 = 780; \lambda_2 = 1400$	œil cornée cristallin	brûlure cornéenne cataractogénèse
m.	780-3 000 (IRA et IRB)	$E_{IR} = 18\ 000 t^{0,75}$ pour $t \leq 1000$ s	E: $[W m^{-2}]$ t: [secondes]			
n.	780-3 000 (IRA et IRB)	$E_{IR} = 100$ pour $t > 1\ 000$ s	$[W m^{-2}]$			
o.	380-3 000 (Visible, IRA et IRB)	$H_{peau} = 20\ 000 t^{0,25}$ pour $t < 10$ s	H: $[J m^{-2}]$ t: [secondes]		peau	brûlure

Note 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.

Note 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 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 1400 nm

λ en nm	B (λ)	R (λ)
$300 \leq \lambda < 380$	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
$700 < \lambda \leq 1\ 050$	—	$10^{0,002 \cdot (700 - \lambda)}$
$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 150$	—	0,2
$1\ 150 < \lambda \leq 1\ 200$	—	$0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1150 - \lambda)}$
$1\ 200 < \lambda \leq 1\ 400$	—	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	œil	lésion photochimique et lésion thermique	2.2, 2.3
180 à 400	UV	peau	érythème	2.4
400 à 700	visible	œil	lésion de la rétine	2.2
400 à 600	visible	œil	lésion photochimique	2.3
400 à 700	visible	peau	lésion thermique	2.4
700 à 1 400	IRA	œil	lésion thermique	2.2, 2.3
700 à 1 400	IRA	peau	lésion thermique	2.4
1 400 à 2 600	IRB	œil	lésion thermique	2.2
2 600 à 10 ⁶	IRC	œil	lésion thermique	2.2
1 400 à 10 ⁶	IRB, IRC	œil	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 ^a [nm]	Diaphragme limite	Durée [s]			
		$10^{-13} - 10^{-11}$	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-7} - 1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$
UVC					$10^9 - 10^7$
180 - 280					$10^3 - 10^1$
280 - 302					$5 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$
303					$H = 30 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$
304					si $t < 2,6 \cdot 10^{-9}$ alors $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ voir note ^d
305					si $t < 1,3 \cdot 10^{-8}$ alors $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ voir note ^d
306					si $t < 1,0 \cdot 10^{-7}$ alors $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ voir note ^d
307					si $t < 6,7 \cdot 10^{-7}$ alors $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ voir note ^d
308					si $t < 4,0 \cdot 10^{-6}$ alors $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ voir note ^d
309					si $t < 2,6 \cdot 10^{-5}$ alors $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ voir note ^d
310					si $t < 1,6 \cdot 10^{-4}$ alors $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ voir note ^d
311					si $t < 1,0 \cdot 10^{-3}$ alors $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ voir note ^d
312					si $t < 6,7 \cdot 10^{-3}$ alors $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ voir note ^d
313					si $t < 4,0 \cdot 10^{-2}$ alors $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ voir note ^d
314					si $t < 2,6 \cdot 10^{-1}$ alors $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ voir note ^d
UVA					si $t < 1,6 \cdot 10^0$ alors $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ voir note ^d
315 - 400					$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$
400 - 700					$H = 5 \cdot 10^{-3} C_E \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 18 \cdot t^{0,75} C_E \text{ [J m}^{-2}\text{]}$
700 - 1 050					$H = 5 \cdot 10^{-3} C_A C_E \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 18 \cdot t^{0,75} C_A C_E \text{ [J m}^{-2}\text{]}$
1 050 - 1 400					$H = 5 \cdot 10^{-2} C_C C_E \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ $H = 90 \cdot t^{0,75} C_C C_E \text{ [J m}^{-2}\text{]}$
1 400 - 1 500					$H = 10^{12} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ voir note ^e $H = 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$
1 500 - 1 800					$E = 10^{13} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ voir note ^e $H = 10^4 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$
1 800 - 2 600					$E = 10^{12} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ voir note ^e $H = 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$
2 600 - 10 ⁶					$E = 10^{11} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ voir note ^e $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$
IRB et IRC					$H = 100 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$

a Si la longueur d'onde du laser correspond à deux limites, la limite la plus restrictive s'applique.
b Si $1400 \leq \lambda < 10^5$ nm: diamètre de diaphragme limite = 1 mm pour $t \leq 0,3$ s et $1,5 \cdot t^{0,375}$ mm pour $0,3 < t < 10$ s;
si $10^5 \leq \lambda < 10^6$ nm: diamètre de diaphragme limite = 11 mm.
c Faute de données pour ces durées d'impulsion, la CIPRNI recommande l'utilisation des limites de luminance énergétiques pour 1 ns.
d 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: $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$.

Tableau 2.3 valeurs limites d'exposition de l'œil au laser Exposition de longue durée > 10 s

Longueur d'onde ^a [nm]		Diaphragme limite	Durée [s]	
UVC	180 - 280 280 - 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314		$10^1 - 10^2$	$10^2 - 10^4$ $10^4 - 3 \cdot 10^4$
UVB		3,5 mm	$H = 30 [J m^{-2}]$ $H = 40 [J m^{-2}]$ $H = 60 [J m^{-2}]$ $H = 100 [J m^{-2}]$ $H = 160 [J m^{-2}]$ $H = 250 [J m^{-2}]$ $H = 400 [J m^{-2}]$ $H = 630 [J m^{-2}]$ $H = 1,0 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$ $H = 1,6 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$ $H = 2,5 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$ $H = 4,0 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$ $H = 6,3 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$ $H = 10^4 [J m^{-2}]$	
UVA	315 - 400		$H = 100 C_B [J m^{-2}]$ $(\gamma = 11 \text{ mrad})^d$	
Visible 400 - 700	400 - 600 Lésion photochimique ^b de la rétine 400 - 700 Lésion thermique ^b de la rétine	7 mm	$E = 1 C_B [W m^{-2}]; (\gamma = 1,1 t^{0,5} \text{ mrad})^d$ si $\alpha < 1,5 \text{ mrad}$ alors $E = 10 [W m^{-2}]$ si $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ et $t \leq T_2$ alors $H = 18 C_E t^{0,75} [J m^{-2}]$ si $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ et $t > T_2$ alors $E = 18 C_E T_2^{-0,25} [W m^{-2}]$ si $\alpha < 1,5 \text{ mrad}$ alors $E = 10 C_A C_G [W m^{-2}]$ si $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ et $t \leq T_2$ alors $H = 18 C_A C_C C_E t^{0,75} [J m^{-2}]$ si $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ et $t > T_2$ alors $E = 18 C_A C_C C_E T_2^{-0,25} [W m^{-2}]$ (ne doit pas être supérieur à $1\,000 W m^{-2}$)	$E = 1 C_B [W m^{-2}]$ $(\gamma = 110 \text{ mrad})^d$
IRA	700 - 1400	7 mm		
IRB & IRC	1 400 - 10 ⁶	Voir ^e	$E = 1000 [W m^{-2}]$	

- a Si la longueur d'onde ou un autre paramètre du laser correspond à deux limites, la limite la plus restrictive s'applique.
- b 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 $10 \text{ s} \leq t < T_1$ et aux limites photochimiques pour les durées supérieures. Pour T_1 et T_2 , 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 $G = 10^6 \text{ CB [J m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$ pour $t > 10\text{s}$ jusqu'à $t = 10\ 000 \text{ s}$ et $L = 100 \text{ CB [W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$ pour $t > 10\ 000 \text{ s}$. 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 Lt est utilisé par le CEN, le symbole G est utilisé par la CIE et le symbole LP est utilisé par la CEI et le GENELEC.)
- c Pour les longueurs d'onde de 1400 à 10^5 nm: diamètre de diaphragme limite = 3,5 mm; pour les longueurs d'onde de 10^5 à 10^6 nm: diamètre de diaphragme limite = 11 mm.
- d 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) $> \gamma$ (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 $\alpha < \gamma$, 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 ¹⁾ [nm]	Diaphragme limite	Durée [s]			
		$< 10^9$	$10^9 - 10^7$	$10^7 - 10^3$	$10^3 - 10^4$
UV (A, B, C)	3,5mm	$E = 3 \cdot 10^{10}$ [W m ⁻²]	Voir limites d'exposition de l'œil		
Visible et IRA	3,5mm	400-700	H=200 C _A [J m ⁻²]	H = 1,1 · 10 ⁴ C _A t ^{0,25} [J m ⁻²]	E = 2 · 10 ³ C _A [W m ⁻²]
		700 -1400	E = 2 · 10 ¹¹ [W m ⁻²]		
IRB et IRC	3,5mm	1 400-1500	E = 10 ¹² [W m ⁻²]	Voir limites d'exposition de l'œil	
		1 500-1800	E = 10 ¹³ [W m ⁻²]		
		1 800-2600	E = 10 ¹² [W m ⁻²]		
		2 600-10 ⁶	E = 10 ¹¹ [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.

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	$C_A = 10^{0,002(\lambda - 700)}$
	1 050 - 1 400	$C_A = 5,0$
C_B	400 - 450	$C_B = 1,0$
	450 - 700	$C_B = 10^{0,02(\lambda - 450)}$
C_C	700 - 1150	$C_C = 1,0$
	1 150 - 1 200	$C_C = 10^{0,018(\lambda - 1150)}$
	1 200 - 1 400	$C_C = 8,0$
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
α_{\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
γ	$t \leq 100$	$\gamma = 11 \text{ [mrad]}$
	$100 < t < 10^4$	$\gamma = 1,1 t^{0,5} \text{ [mrad]}$
	$t > 10^4$	$\gamma = 110 \text{ [mrad]}$

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:

- 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}	$315 < \lambda \leq 400$	$T_{\min} = 10^{-9} \text{ s}$ (= 1 ns)
	$400 < \lambda \leq 1050$	$T_{\min} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ (= 18 μs)
	$1050 < \lambda \leq 1400$	$T_{\min} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ (= 50 μs)
	$1400 < \lambda \leq 1500$	$T_{\min} = 10^{-3} \text{ s}$ (= 1 ms)
	$1500 < \lambda \leq 1800$	$T_{\min} = 10 \text{ s}$
	$1800 < \lambda \leq 2600$	$T_{\min} = 10^{-3} \text{ s}$ (= 1 ms)
	$2600 < \lambda \leq 10^6$	$T_{\min} = 10^{-7} \text{ s}$ (= 100 ns)