



**Exposition
professionnelle aux
rayonnements
optiques artificiels**
Guide d'évaluation
des risques sans mesure

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

Dans le domaine de la prévention des risques professionnels, l'INRS est un organisme scientifique et technique qui travaille, au plan institutionnel, avec la Cnam, les Carsat, Cramif, CGSS et plus ponctuellement pour les services de l'État ainsi que pour tout autre organisme s'occupant de prévention des risques professionnels.

Il développe un ensemble de savoir-faire pluridisciplinaires qu'il met à la disposition de tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, médecin du travail, instances représentatives du personnel, salariés. Face à la complexité des problèmes, l'Institut dispose de compétences scientifiques, techniques et médicales couvrant une très grande variété de disciplines, toutes au service de la maîtrise des risques professionnels.

Ainsi, l'INRS élabore et diffuse des documents intéressant l'hygiène et la sécurité du travail : publications (périodiques ou non), affiches, audiovisuels, sites Internet... Les publications de l'INRS sont diffusées par les Carsat. Pour les obtenir, adressez-vous au service Prévention de la caisse régionale ou de la caisse générale de votre circonscription, dont l'adresse est mentionnée en fin de brochure.

L'INRS est une association sans but lucratif (loi 1901) constituée sous l'égide de la Cnam et soumise au contrôle financier de l'État. Géré par un conseil d'administration constitué à parité d'un collègue représentant les employeurs et d'un collègue représentant les salariés, il est présidé alternativement par un représentant de chacun des deux collèges. Son financement est assuré en quasi-totalité par la Cnam sur le Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS)

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail, la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France et les caisses générales de sécurité sociale disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ils sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, instances représentatives du personnel, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Ils assurent la mise à disposition de tous les documents édités par l'INRS.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

**Exposition
professionnelle aux
rayonnements
optiques artificiels**
Guide d'évaluation
des risques sans mesure

Annick Barlier-Salsi



Introduction	4
1. Accompagner la mise en œuvre de la réglementation	6
1.1 Démarche générale	6
1.2 Quels sont les rayonnements concernés ?	6
1.3 Outils proposés par l'INRS	7
2. Risques et valeurs limites d'exposition	8
2.1 Effets nocifs des rayonnements optiques	8
2.2 Valeurs limites d'exposition (VLE) et grandeurs associées	9
3. Évaluer les risques sans mesure	11
3.1 Étape 1 : recenser les sources qui produisent des rayonnements optiques	12
3.2 Étape 2 : classer les sources	12
3.3 Étape 3 : analyser les postes de travail	14
3.4 Étape 4 : évaluer l'exposition par le calcul	16
Pour en savoir plus	26
Bibliographie	27
Annexes	30
Annexe A – Spécifications pour la détermination des grandeurs exprimées en luminance énergétique	31
Annexe B – Grandeurs à déterminer	32
Annexe C – Groupes de risque définis dans les normes EN 12198 et EN 62471	33
Annexe D – Désinsectiseur électronique : exemple extrait du guide européen	35

INTRODUCTION

Parmi les effets nocifs immédiats des rayonnements optiques artificiels (ROA) sur la santé des travailleurs, le « coup d'arc » du soudeur est de loin le plus connu. De ce fait, les soudeurs, conscients de ce risque, utilisent systématiquement des masques de protection. De la même manière, l'exposition chronique au rayonnement infrarouge émis par le verre en fusion est reconnue comme étant susceptible d'engendrer des cataractes, c'est pourquoi cette pathologie est depuis longtemps inscrite au tableau des maladies professionnelles. Dans ces deux cas, les rayonnements émis ne contribuent pas au procédé, il s'agit simplement de rayonnements parasites. D'autres dispositifs, tels que les lampes destinées à l'éclairage général ou spécifique, peuvent émettre des ROA indésirables.

En effet, le rayonnement visible produit par les lampes halogènes, les lampes à arc ou aux halogénures métalliques est accompagné de rayonnements ultraviolet ou infrarouge qui, souvent, ne sont pas soupçonnés par l'utilisateur. À l'inverse, les ROA sont employés pour leurs caractéristiques spécifiques dans la mise en œuvre de certains procédés. Les effets photochimiques, germicides, fluorescents... du rayonnement ultraviolet sont utilisés pour la polymérisation des colles et vernis, le séchage des encres d'imprimerie, la stérilisation, les contrôles qualité...

Ainsi, que les ROA soient nécessaires à un procédé de fabrication ou qu'ils en soient les conséquences indésirables, ils sont susceptibles de présenter des risques pour la santé des travailleurs exposés directement ou indirectement. Ces risques varient selon les domaines spectraux d'émission, les puissances mises en jeu, les distances et les durées d'exposition journalières.

Des organismes tels que l'ACGIH¹ et l'ICNIRP² se sont depuis longtemps préoccupés des risques pour la santé des travailleurs exposés aux ROA. Leurs travaux ont conduit à la publication de recommandations [1-4] visant notamment à proposer des valeurs limites d'exposition (VLE). Ces dernières évoluent au fur et à mesure des nouvelles connaissances sur les effets des rayonnements optiques sur la santé et font l'objet de mises à jour régulières.

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists

2. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection



Sur le plan réglementaire, la protection des travailleurs contre les ROA est prise en compte, depuis 2006, par la directive européenne 2006/25/CE [5] transposée dans les articles R. 4452-1 [6] à R. 4452-31 du Code du travail. Ces textes réglementent l'exposition des travailleurs aux ROA en fixant les VLE, ainsi que les obligations des employeurs et les conditions de suivi individuel de l'état de santé des travailleurs. Dans le cadre de l'évaluation des risques, il est précisé que « l'employeur évalue les risques résultant de l'exposition aux ROA, notamment afin de vérifier le respect des VLE définies aux articles R. 4452-5 et R. 4452-6. Si une évaluation à partir des données documentaires techniques disponibles ne permet pas de conclure à l'absence de risque, il calcule et, le cas échéant, mesure les niveaux de ROA auxquels les travailleurs sont exposés ». Ces modalités d'évaluation des risques sont reprises et explicitées dans l'arrêté [7] du 1^{er} mars 2016 relatif aux modalités de l'évaluation des risques résultant de l'exposition aux ROA en milieu de travail. S'il est clair que la réglementation n'impose pas le mesurage, il n'en demeure pas moins que l'employeur ne sait pas toujours comment mettre en œuvre la première étape du processus, à savoir évaluer les risques sans mesure : où trouver l'information nécessaire ? Comment exploiter les documents à sa disposition ? Quels sont les moyens de calcul disponibles ?

Ce guide propose donc une réponse à ces questions. Il s'adresse plus particulièrement aux personnes ayant des compétences techniques en prévention des risques professionnels : agents des services de prévention des Carsat/Cramif/CGSS, intervenants en prévention des risques professionnels (IPRP) et ingénieurs et techniciens des services Hygiène sécurité environnement (HSE) des entreprises...

Il rappelle les VLE associées à chacun des risques, dresse un état des principaux documents disponibles pour réaliser la première étape d'évaluation des risques, décrit les moyens de calculs existants pour quantifier les niveaux d'exposition et notamment le logiciel CatRayon [8].



ACCOMPAGNER LA MISE EN ŒUVRE DE LA RÉGLEMENTATION

1.1 Démarche générale

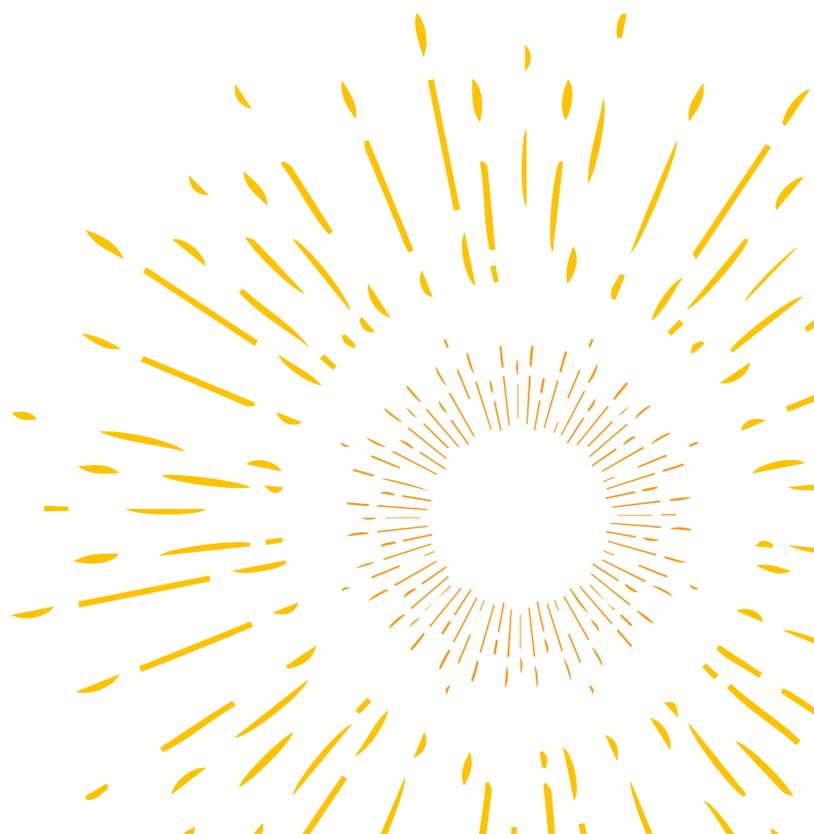
L'une des premières difficultés pour évaluer les risques dus aux ROA provient de la multiplicité de leurs effets sur la santé et de l'étendue de leur domaine spectral : on comptabilise sept domaines spectraux à explorer et certaines VLE ne sont pas toujours simples à appréhender. S'ajoute à cela la diversité des sources rencontrées in situ. Sachant que le champ d'application de la réglementation s'étend à toutes les sources de ROA, il convient de pouvoir distinguer, dans un premier temps, les situations de travail présentant un risque négligeable ou nul de celles qui présentent un risque potentiel. Dans un second temps, si l'absence de risque ne peut pas être confirmée, les niveaux d'exposition aux ROA doivent alors être quantifiés et comparés aux VLE.

1.2 Quels sont les rayonnements concernés ?

La réglementation s'applique à tous les rayonnements optiques artificiels : cohérents (laser³) et incohérents⁴. Ce document traite uniquement des ROA incohérents entre 180 et 3 000 nm, produits par des sources présentes sur les lieux de travail à l'intérieur, comme à l'extérieur des locaux. Les rayonnements cohérents (laser) sont traités dans la brochure ED 6071 [9].

3. Laser : acronyme de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Dispositif susceptible de produire ou d'amplifier des rayonnements optiques (dits cohérents) essentiellement par le procédé de l'émission stimulée contrôlée.

4. Rayonnements incohérents : tous les rayonnements optiques autres que les rayonnements laser.



1.3 Outils proposés par l'INRS

Les risques des ROA sur la santé des travailleurs sont une préoccupation de l'INRS depuis de nombreuses années. Un certain nombre d'études conduites sur le terrain et en laboratoire a permis de quantifier les niveaux d'exposition des salariés aux ROA produits par des sources diverses telles que les lampes à ultraviolets [10], les projecteurs scéniques [11], les fours de verrerie [12], de forge [13] et d'aciérie [14], ainsi que par les arcs de soudage [15]. L'INRS a aussi développé le logiciel CatRayon [8] permettant de simuler différentes situations d'exposition aux ROA à partir des caractéristiques de sources présentes dans ses bases de données ou mesurées par les utilisateurs.

Sur la base de cette expérience, l'INRS a choisi de publier des documents à plusieurs niveaux à l'intention des différents acteurs chargés de la mise en œuvre des dispositions réglementaires sur les lieux de travail.

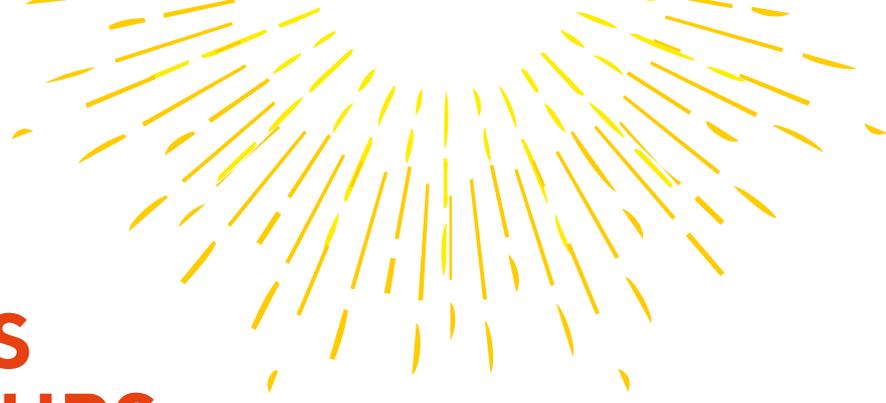
Le guide de premier niveau ED 6113 [16] reprend les points essentiels de la réglementation, décrit les effets des ROA sur l'organisme, donne des exemples de sources de ROA rencontrées sur les lieux de travail en les classant par ordre croissant de nocivité. Il fournit également des éléments pour réaliser la première étape de l'évaluation des risques, à savoir distinguer les situations de travail à risque négligeable ou nul et celles présentant un risque avéré.

Le guide de second niveau est l'objet du présent document.

Le guide de troisième niveau NS 347 [17] concerne spécifiquement la métrologie des ROA, qui intervient lorsque les étapes précédentes relatives à l'évaluation des risques sans mesure n'ont pas permis de conclure ou n'ont pas pu être mises en œuvre par manque de données. L'objectif de ce document est de guider les personnes chargées d'effectuer des mesures sur les lieux de travail, en dressant un état des recommandations, normes et réglementations existantes, en rappelant les grandeurs à déterminer et les VLE associées et en décrivant les moyens de mesure disponibles et leur fiabilité, la méthodologie de mesure au poste de travail et l'évaluation des risques à partir de mesurages.



RISQUES ET VALEURS LIMITES D'EXPOSITION



2.1 Effets nocifs des rayonnements optiques

Les rayonnements optiques ont une action sur les yeux et la peau et leurs effets sont d'ordre thermique ou photochimique. La nature et le siège des lésions dépendent essentiellement de leur longueur d'onde, de leur intensité et de la durée d'exposition.

- **Le rayonnement ultraviolet** (180 - 400 nm) a des effets directs immédiats sur la peau se manifestant par le classique « coup de soleil » qui apparaît 6 à 12 heures après l'exposition. Il existe plusieurs niveaux de gravité qui vont du simple érythème à des lésions plus importantes. À long terme, la répétition de lésions actiniques cutanées peut entraîner des lésions précancéreuses ou éventuellement d'authentiques cancers cutanés. Au niveau des yeux, les ultraviolets B et C sont en grande partie absorbés par la cornée et la conjonctive et peuvent provoquer leur inflammation. La kératoconjonctivite se traduit par une sensation de corps étranger (de sable) dans les yeux, bien connue sous le terme de « coup d'arc » par les soudeurs. La baisse d'acuité visuelle peut durer de 6 à 24 heures. L'action du rayonnement ultraviolet sur les yeux et la peau est maximale pour les longueurs d'onde entre 270 et 280 nm

(voir figure B1 en annexe B, spectre d'action S (λ)). De plus, le rayonnement ultraviolet de longueurs d'onde supérieures à 295 nm, transmis par la cornée et absorbé par le cristallin est susceptible d'engendrer une opacification du cristallin (cataracte).

- **Les rayonnements visibles et proche infrarouge** (300 - 1 400 nm) traversent les différents milieux oculaires et atteignent la rétine. Une surexposition de la rétine aux rayonnements visibles peut induire une photorétinite qui se traduit par un scotome (tache aveugle) plus ou moins réversible selon la durée d'exposition et l'intensité du rayonnement [18]. Cette action photochimique du rayonnement s'étend pour des longueurs d'onde de 300 à 700 nm, elle est maximale dans le domaine bleu du spectre (voir figure B1 en annexe B, spectre d'action B (λ)). Par ailleurs, des lésions thermiques, dues aux rayonnements compris entre 380 et 1400 nm, peuvent apparaître lors d'expositions de courte durée (entre 1 μ s et 10 secondes) à des sources de rayonnement intense et notamment en l'absence de fort stimulus visuel. L'action thermique est maximale entre 435 et 440 nm (voir figure B1 en annexe B, spectre d'action R (λ)). Au niveau de la peau, les lésions thermiques provoquées par l'exposition au visible et aux infrarouges proche et moyen sont rares. En fait, seules les sources pulsées ou les expositions de très

courte durée (inférieure à 10 secondes) à des niveaux très élevés sont susceptibles de provoquer des lésions thermiques de la peau. Quant aux expositions de longues durées, les effets dépendent de la température initiale de la peau et de la température ambiante et relèvent plus de problèmes liés aux contraintes thermiques que de l'exposition aux rayonnements optiques.

- **Le rayonnement infrarouge** compris entre 780 et 3000 nm peut provoquer, d'une part, un échauffement de la cornée qui se traduit immédiatement par une douleur et, d'autre part, avoir des effets retardés sur le cristallin. Le rayonnement infrarouge est absorbé par la cornée et l'iris puis transformé en chaleur qui est transmise au cristallin. Les échauffements répétés du cristallin favorisent l'apparition de cataractes.

2.2 Valeurs limites d'exposition (VLE) et grandeurs associées

L'étendue de la gamme spectrale des rayonnements optiques conduit à des effets multiples sur le corps humain qui nécessitent de recourir à plus d'une VLE. Le tableau 1 rappelle l'ensemble des VLE fixées par la réglementation. Elles reposent sur deux grandeurs physiques :

- **L'éclairement énergétique exprimé en $W.m^{-2}$** est le flux de rayonnement énergétique reçu par unité de surface. Dans le cas présent, la surface réceptrice est constituée par la peau ou les parties antérieures de l'œil (cornée, cristallin). Il s'agit du rayonnement direct émis par une ou plusieurs sources ou, le cas échéant, du rayonnement réfléchi par les éléments environnants. La peau étant une surface plane,

tout le rayonnement susceptible de l'atteindre est pris en compte, soit une réception sur un angle d'admission de 180° [4]. En revanche, les segments antérieurs de l'œil sont protégés par les paupières et, dans ce cas, seuls les rayonnements apparaissant dans un angle de 80° sont collectés [3-4].

- **La luminance énergétique exprimée en $W.m^{-2}.sr^{-1}$** se rapporte à une source et correspond au flux de rayonnement énergétique émis par unité de surface de la source et d'angle solide. Cette grandeur est utilisée uniquement pour caractériser les effets sur la rétine. La grandeur pertinente pour évaluer ce risque serait l'éclairement énergétique rétinien. Or, ce dernier est difficilement mesurable. Comme il existe un lien de proportionnalité entre l'éclairement rétinien et la luminance de la source observée, le choix s'est porté sur cette grandeur facilement mesurable. La pupille, qui agit comme un diaphragme, limite le rayonnement atteignant la rétine et conduit à définir un angle pour déterminer la luminance moyenne dans le champ de visée. On notera que les valeurs de cet angle, données en annexe A, varient en fonction de la durée d'exposition de manière à prendre en compte les mouvements des yeux lors de la réalisation d'une tâche.

Les grandeurs à déterminer dans les différents domaines spectraux et à comparer aux VLE sont détaillées dans l'annexe B (tableau B1). Certaines grandeurs des tableaux 1 et B1 prennent, de plus, en considération la durée d'exposition journalière t , on parle alors d'expositions énergétiques : ce sont les grandeurs H_{eff} , H_{UVA} et H_{peau} exprimées en $J.m^{-2}$. On note également la présence d'un angle α pour calculer la VLE de L_R . Il correspond à l'angle sous-tendu par la source (voir figure A1 en annexe).



Tableau 1 / Valeurs limites d'exposition réglementaires et risques associés

Domaine spectral	Partie du corps	Risque	Valeurs limites d'exposition (VLE)	
180 – 400 nm	Œil : cornée, conjonctive	Photokératite, conjonctivite	$H_{eff} = 30 \text{ J.m}^{-2}$ avec	$H_{eff} = E_{eff} t$
	Peau	Érythème, élastose, cancer de la peau		
315 – 400 nm	Œil : cristallin	Cataracte	$H_{UVA} = 10^4 \text{ J.m}^{-2}$ avec	$H_{UVA} = E_{UVA} t$
300 – 700 nm	Œil : rétine	Photorétinite	Pour $\alpha \geq 0.011 \text{ rad}$	$L_B = \frac{10^6}{t} \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$
			Pour $t \leq 10\,000 \text{ s}$	
		Pour $t > 10\,000 \text{ s}$		
			Pour $\alpha < 0.011 \text{ rad}$	
			Pour $t \leq 10\,000 \text{ s}$	$E_B = \frac{100}{t} \text{ W.m}^{-2}$
			Pour $t > 10\,000 \text{ s}$	$E_B = 0.01 \text{ W.m}^{-2}$
380 – 1400 nm	Œil : rétine	Brûlure rétinienne	Pour $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{ s}$ et $0.0017 \leq \alpha \leq 0.1 \text{ rad}$ ⁽¹⁾	$L_R = \frac{5.10^4}{\alpha.t^{0.25}} \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$
780 – 1400 nm	Œil : rétine	Brûlure rétinienne	Pour $t > 10 \text{ s}$ et $0.011 \leq \alpha \leq 0.1 \text{ rad}$ ⁽²⁾	$L_R = \frac{6000}{\alpha} \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$
780 – 3 000 nm	Œil : cornée, cristallin	Brûlure cornéenne, cataracte	Pour $t \leq 1000 \text{ s}$	$E_{IR} = 1,8.10^4.t^{-0,75} \text{ W.m}^{-2}$
			Pour $t > 1000 \text{ s}$	$E_{IR} = 100 \text{ W.m}^{-2}$
380 – 3 000 nm	Peau	Brûlure	Pour $t < 10 \text{ s}$	$H_{Peau} = 2.10^4.t^{0,25} \text{ J.m}^{-2}$

⁽¹⁾ Si $t < 10 \mu\text{s}$ ou $t > 10 \text{ s}$, la VLE est calculée en prenant respectivement $t = 10 \mu\text{s}$ ou $t = 10 \text{ s}$.

Si $\alpha < 0.0017 \text{ rad}$ ou $\alpha > 0,1 \text{ rad}$, la VLE est calculée en prenant respectivement $\alpha = 0.0017 \text{ rad}$ ou $\alpha = 0,1 \text{ rad}$.

⁽²⁾ Si $\alpha < 0.011 \text{ rad}$ ou $\alpha > 0,1 \text{ rad}$, la VLE est calculée en prenant respectivement $\alpha = 0.011 \text{ rad}$ ou $\alpha = 0,1 \text{ rad}$.



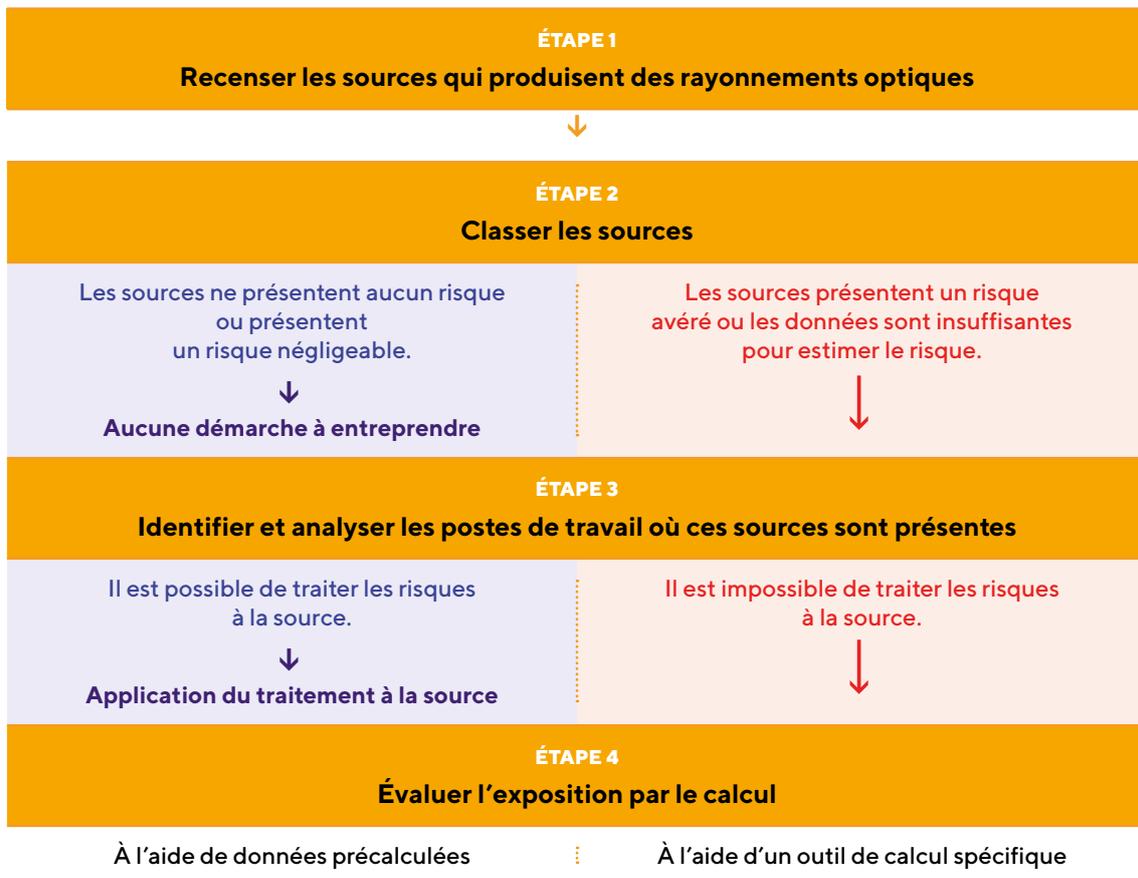
3

ÉVALUER LES RISQUES SANS MESURE

Alors que les ROA sont présents dans toutes les entreprises (puisque les luminaires en émettent), une analyse scrupuleuse des différentes situations de travail susceptibles de présenter des risques permet, la plupart du temps,

d'éviter le recours au mesurage. La démarche d'évaluation des risques sans mesure représentée à la figure 1 propose différentes étapes pour conduire cette analyse.

Figure 1 / Démarche d'évaluation des risques sans mesure



3.1 Étape 1 : **recenser les sources qui produisent des rayonnements optiques**

La première étape consiste à recenser les différentes sources de rayonnements optiques présentes dans l'entreprise. Cette première phase de l'évaluation des risques est indispensable pour s'assurer que toutes les sources seront bien prises en compte. Une approche trop rapide serait, par exemple, de négliger toutes les sources d'éclairage général. Or, un certain nombre de sources d'éclairage (lampes halogènes, à décharge...) utilisées dans des conditions anormales (avec verre de protection détérioré, à courte distance...) peuvent présenter des risques. Le risque peut également apparaître lors des phases de maintenance.

3.2 Étape 2 : **classer les sources**

Les sources répertoriées dans l'entreprise sont classées en deux catégories : celles qui ne présentent aucun risque, pour lesquelles il n'est pas nécessaire de poursuivre l'évaluation, et celles qui nécessitent en revanche une investigation. L'article 1 de l'arrêté du 1^{er} mars 2016 prévoit qu'à ce stade :

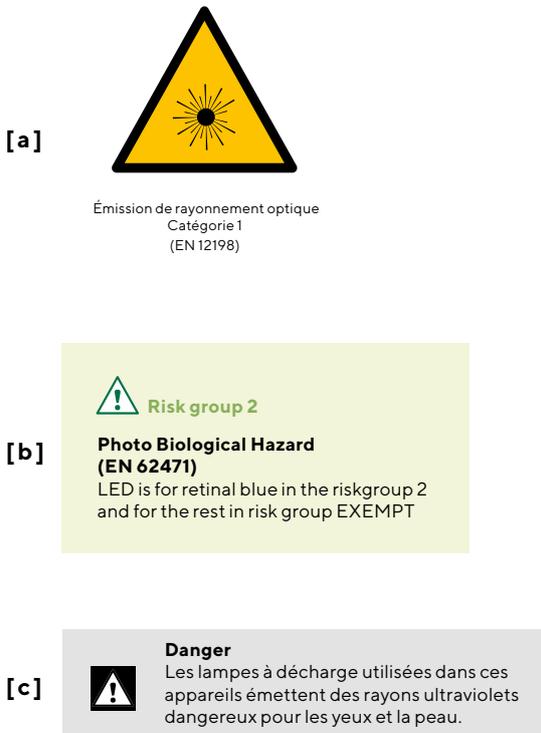
« L'évaluation des risques résultant de l'exposition aux rayonnements optiques artificiels auxquels les travailleurs sont soumis prévue par l'article R. 4452-7 du Code du travail est réalisé à partir des données documentaires techniques disponibles et de toutes sources d'information telles que les données des fabricants, les normes, les guides pratiques et publications scientifiques reconnus et validés par un organisme de référence ».

3.2.1 Les données des fabricants

Les informations fournies par le fabricant relèvent généralement d'un marquage réglementaire. Le marquage CE des lampes est réglementé par la directive basse tension 2014/35/CE [19] (transposée dans le décret 2015-1083 [20]), celui des machines par la directive 2006/42/CE [21] (transposée dans le Code du travail). Ces directives prennent en compte l'émission de rayonnement optique au travers de différentes normes harmonisées qui imposent un marquage lorsque les niveaux émis dépassent les limites d'exposition. Parmi ces normes, on peut citer, par exemple, la norme EN 12198-1 [22] relative aux rayonnements émis par les machines et la norme EN 62471 [23] qui traite de la sécurité photobiologique des lampes. Les groupes de risque définis par ces deux normes sont donnés en annexe C. Une étiquette apposée sur la machine (voir figure 2a) ou le luminaire, ou un encart dans la notice d'accompagnement de l'appareil (voir figure 2b et c) renseignent l'utilisateur sur le danger potentiel de la lampe ou de la machine.

En observant la classification des niveaux de risque (voir annexe C) définie dans la norme EN 12198, on constate que les limites maximales de la catégorie 1 correspondent aux VLE réglementaires pour une durée d'exposition journalière de 8 heures. Les machines classées en catégorie 0 ou 1 ne présentent donc pas de risque au regard de la législation et ne requièrent pas d'évaluation plus poussée ; exception faite des machines émettant de l'UVA susceptible d'atteindre les yeux, puisque la norme ne définit pas de limite spécifique à ce domaine spectral. En revanche, des lampes portant les mentions spécifiées à la figure 2b et c nécessiteront de poursuivre l'évaluation.

Figure 2 / **Exemples d'informations apposées sur l'appareil ou spécifiées dans la notice du fabricant**



3.2.2 Les guides pratiques

La publication de la directive ROA a été accompagnée par un guide pratique, édité par la commission européenne [24]. Des exemples concrets d'évaluation des risques de différentes sources de ROA y sont décrits (voir l'exemple d'un désinsectiseur électronique donné en annexe D). Un autre guide [25] édité par le gouvernement belge complète bien le guide européen ; il fournit notamment un classement de divers équipements selon la norme EN 12198.

Par ailleurs, la brochure ED 6113 [16] recense, d'une part, des sources qui ne présentent pas de risque ou des risques négligeables, et d'autre part, des types d'activités professionnelles où sont utilisées des sources présentant des risques avérés.

3.2.3 Les publications scientifiques et les actes de congrès

En ce qui concerne les lampes d'usage général, les publications [18] [26-29] relatives au rayonnement visible émis par les LED sont nombreuses et seules quelques-unes sont données ici en référence. La littérature est en revanche moins abondante concernant les lampes produisant spécifiquement de l'ultraviolet [10] [30] [31] ou de l'infrarouge. L'exposition aux rayonnements optiques est souvent traitée au travers de campagnes de mesures réalisées dans l'industrie : verrerie [12] [32], métallurgie [13-15] [33], dans le secteur médical [34] [35] ou dans le spectacle [11] [36] [37] par exemple. Des congrès dédiés aux rayonnements optiques [38], ou organisés par des organismes ayant un champ d'action plus large tels que la SFRP⁵, l'ICNIRP⁶, l'IRPA⁷, la CIE⁸, l'IEEE⁹... peuvent également constituer des sources d'information.

5. Société française de radioprotection

6. *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*

7. *International Radiation Protection Association*

8. Commission internationale de l'éclairage

9. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

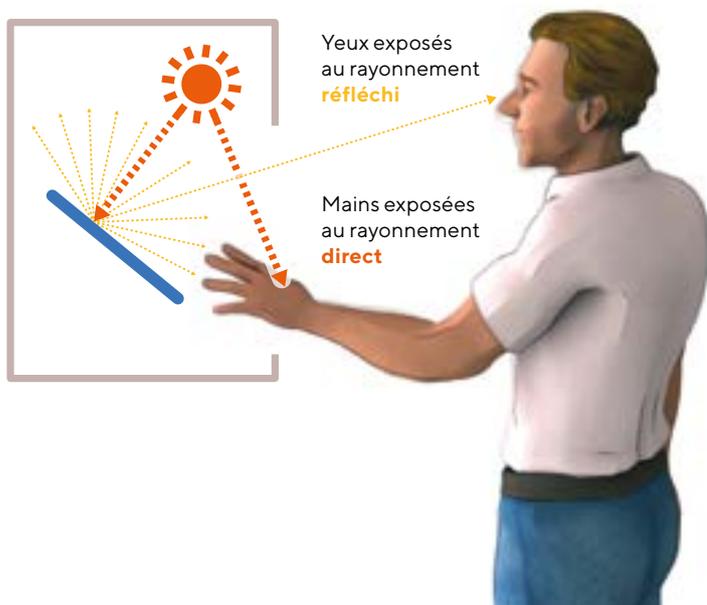
3.3 Étape 3 : analyser les postes de travail

3.3.1 Identifier les postes de travail

Déterminer l'exposition des salariés aux rayonnements optiques nécessite de réaliser une analyse détaillée des tâches. Toutes les activités au cours desquelles une personne est susceptible d'être exposée à ces rayonnements doivent être considérées. Il s'agit donc de bien identifier :

- les zones du corps exposées : yeux, mains, bras, cou...,
- l'origine du rayonnement reçu : rayonnement direct ou réfléchi (voir exemple figure 3),
- l'implantation des sources et des personnes dans le local.

Figure 3 / Identification des zones exposées



Un exemple de schéma d'implantation des sources repérées $S1$, $S2$... et des personnes repérées $P1$, $P2$... est donné à la figure 4. Le schéma d'implantation peut servir de base à l'élaboration des fiches d'exposition en faisant apparaître, par exemple, qu'à l'emplacement $P1$ la personne est effectivement exposée à la source $S1$ présente à son poste de travail, mais aussi au rayonnement émis par la source $S2$ du poste voisin. Il est également important d'indiquer la nature des cloisons. Dans le cas de cloisons totalement opaques, les personnes ne sont exposées qu'aux sources présentes à leur poste. Dans le cas de rideaux translucides, il faut tenir compte de leur efficacité pour limiter le rayonnement transmis.

3.3.2 Est-il possible de traiter les risques à la source ou de limiter le nombre de personnes exposées ?

Une fois la première analyse du poste réalisée et dans le cas où des risques sont avérés, il est important de s'interroger sur la possibilité de traiter ces risques à la source par le biais des questions suivantes :

- **La source peut-elle être remplacée par une source sans risque ?**

La figure 2c montre un étiquetage mentionnant que la LED bleue utilisée est classée dans le groupe de risque 2. Le remplacement de cette LED à forte luminance par plusieurs LED de même spectre, mais de luminance plus faible classées en groupe de risque 0 ou 1 permettrait de supprimer le risque à la source.

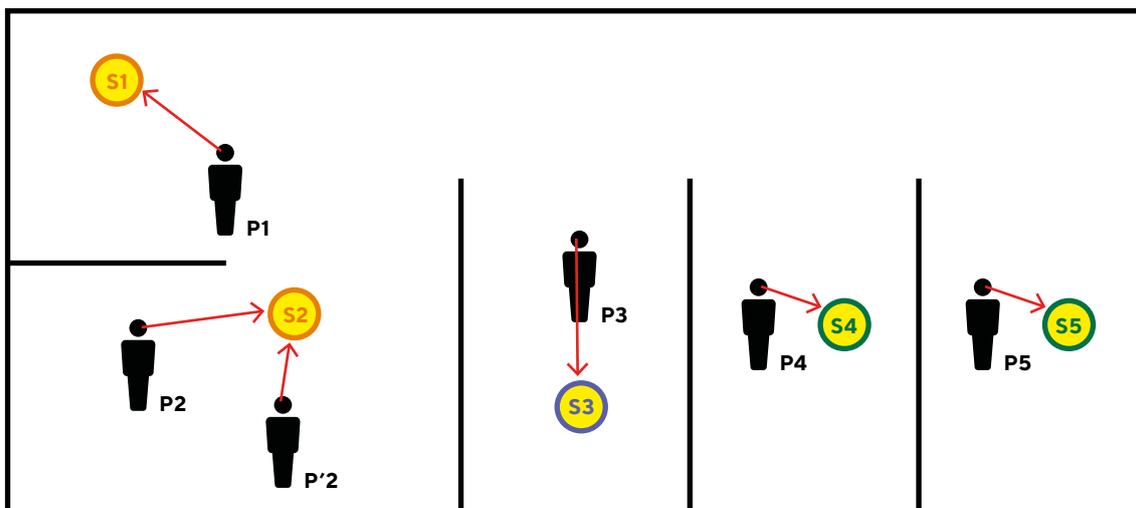
• **La tâche ou le processus nécessite-t-il de voir la source de rayonnement ou d'y exposer la peau ?**

Souvent, une modification des habitudes ou un aménagement du poste de travail permettent de limiter, voire d'éliminer, le risque. Voici quelques exemples :

- Des serres horticoles sont aujourd'hui équipées de luminaires à LED colorées rouge et bleue pour accélérer le mûrissement. Outre le fait qu'elles provoquent un fort éblouissement, les LED bleues présentes sur le luminaire sont classées en groupe de risque 2. Or, la mise en service de l'éclairage pendant la récolte n'est pas indispensable ; il est alors possible d'envisager une extinction automatique ou manuelle des luminaires disposés dans la portion de la serre occupée par le personnel.
- Dans l'exemple représenté à la figure 3, la tâche consiste à détecter des défauts sur des produits par réflexion de rayonnement UV. Lors de cette opération, la vision de la lampe n'est pas nécessaire, seul le rayonnement réfléchi par l'objet est utile, c'est pourquoi un écran masque la vision directe de la lampe.

- Dans le cas du soudage, il est évident que, pour toutes les tâches qui ne peuvent être automatisées, le soudeur n'a pas d'autre alternative que de regarder la pièce à souder. En revanche, il est souvent possible de limiter, voire supprimer, l'exposition des personnes travaillant dans l'environnement du poste de travail par l'utilisation de rideaux de soudage.
- Les lampes germicides sont largement utilisées dans l'industrie agroalimentaire pour éliminer les bactéries. Sur la chaîne de fabrication, ces lampes sont capotées, mais une personne intervient régulièrement pour contrôler l'efficacité des lampes par une mesure du niveau d'émission. Un capteur placé à demeure près de la lampe permettrait un affichage continu du niveau d'émission et supprimerait cette intervention à risque.
- De la même manière, certaines tâches d'inspection de pièces, réalisées par un contrôle visuel direct, pourraient aujourd'hui être remplacées par un contrôle filmé et déporté sur un écran.

Figure 4 / Exemple de schéma d'implantation des sources et des personnes



3.4 Étape 4 : évaluer l'exposition par le calcul

S'il n'est pas possible de traiter les risques à la source comme expliqué précédemment, il sera nécessaire de continuer l'évaluation des risques à partir de données précalculées ou à l'aide d'un outil de calcul spécifique comme CatRayon (par exemple). Pour ce faire, la démarche nécessite, en premier lieu, de relever les conditions d'exposition des salariés.

3.4.1 Relever les conditions d'exposition

Pour relever les conditions d'exposition des salariés, les normes NF EN 14255 -1 et 2 [39], [40] proposent des exemples de tableaux d'analyse des tâches, qui regroupent à la fois les caractéristiques des sources, les conditions d'exposition, les données médicales des personnes... Sans aller aussi loin dans les détails, une analyse des situations d'exposition, basée sur les deux fiches suivantes, peut être suffisante :

- une fiche technique des sources,
- une fiche de poste pour chaque emplacement de travail et, le cas échéant, pour les personnes susceptibles d'être exposées lors de la réalisation de tâches annexes dans le voisinage des sources.

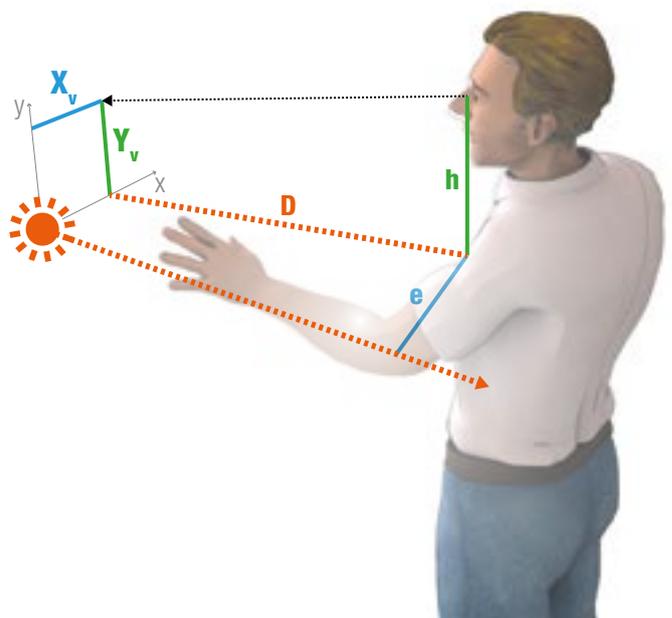
Les fiches décrites ci-après sont très détaillées au regard des informations nécessaires à l'évaluation des risques au poste de travail car celui-ci est susceptible d'évoluer au fil du temps : remplacement d'une lampe par un modèle approchant mais avec des caractéristiques optiques différentes, réaménagement d'un poste de travail, changement de processus...

Il est alors important de connaître les conditions exactes d'exposition au moment de l'évaluation des risques.

Par ailleurs, ces fiches pourront servir de base à l'élaboration des fiches d'exposition exigées par l'article R. 4452-23 du Code du travail : « L'employeur établit pour ces travailleurs une fiche d'exposition comprenant les informations suivantes :

- 1° La nature du travail accompli ;
- 2° Les caractéristiques des sources émettrices auxquelles le travailleur est exposé ;
- 3° La nature des rayonnements ;
- 4° Le cas échéant, les résultats des mesurages des niveaux de rayonnements optiques artificiels ;
- 5° Les périodes d'exposition. »

Figure 5 / Paramètres permettant de décrire la géométrie d'exposition, c'est-à-dire la position de la zone exposée par rapport au centre de la source (D, h, e) et son inclinaison par rapport à l'axe de la source (X_v , Y_v)



La **fiche technique des sources** regroupe tous les éléments qui permettront à la source d'être identifiée facilement, a posteriori. Un exemple de fiche technique est donné dans le tableau 2.

Un exemple de **fiche de poste** qui résume toutes les données importantes à relever au poste de travail est donné dans le tableau 3. Cette fiche concerne une personne exposée à

une ou plusieurs sources, soit simultanément, soit successivement. Les paramètres entrés dans la colonne « géométrie d'exposition » doivent être suffisants pour repérer, d'une part, la position de la zone exposée par rapport au centre de la source (D, h, e), d'autre part, son inclinaison par rapport à l'axe de la source (X_v, Y_v), tels qu'ils sont décrits à la figure 5.

Tableau 2 / **Exemple de fiche technique permettant de décrire chaque type de source**

Repère sur le schéma	S1
Nom ou référence donné par l'entreprise	T5 XX48 -16
Type de source	Exemples : appareillage équipé de lampes, four de fusion, arc de soudage, processus spécifique...
Description sommaire du processus	Exemples : polymérisation de vernis, détection de défauts, réchauffage de pièces métalliques, fabrication de fibres de verre...
Paramètres	Exemples : équipement intégrant des lampes : nombre de lampes, type, référence commerciale, puissance... Soudage : type MIG, MAG, TIG... matériaux d'apport : électrode, fil, référence commerciale, intensité, tension, gaz de protection, matériau soudé... Four : type : fonte, réchauffage... Nature du mode de chauffage : électrique, gaz... matériaux fondus ou entreposés : acier, aluminium, verre...
Géométrie de la source	Forme, dimensions
Présence d'un dispositif de protection collective	Exemples : vitrage transparent, rideau de soudage orange

Tableau 3 / Exemple de fiche de poste

Repère sur le schéma		P1			
Mode opératoire de l'activité		Exemples : chargement de pièces dans le four, maintenance du four, passage d'articles de maroquinerie sous la lampe UV pour détection de défauts...			
Sources	Zones exposées	Rayonnement	Équipement de protection	Durée d'exposition journalière	Géométrie d'exposition (voir figure 6)
S1	yeux	direct	Lunettes : référence, classe de protection [41-44]	3 heures	D = 3 m ; h = 0,80 m ; e = 1 m ; X _v = 0,70 m ; Y _v = 0,60 m
	mains	direct	Gants : matière	3 heures	D = 2,5 m ; h = 0,20 m ; e = 0 ; X _v = 0 ; Y _v = 0
S2	cou	indirect

3.4.2 Évaluer les risques sur la base de données précalculées

Des résultats d'évaluation du risque relatifs à différentes sources de rayonnement sont parfois disponibles dans des articles scientifiques ou des rapports d'étude. Si les conditions d'exposition étudiées sont précisées et se rapprochent de la configuration réelle du poste de travail rencontré dans l'entreprise, alors l'évaluation des risques peut devenir relativement simple à effectuer. Les deux exemples suivants illustrent ce propos :

- **Deux sources de rayonnement ultraviolet** utilisées dans l'industrie et dans les arts graphiques. La figure 6 présente des résultats d'évaluation des risques extraits de la publication référencée [10]. Elle permet d'identifier deux types de source (voir figure 6a) : l'une de 125 W pour la photochimie (repérée G1), l'autre

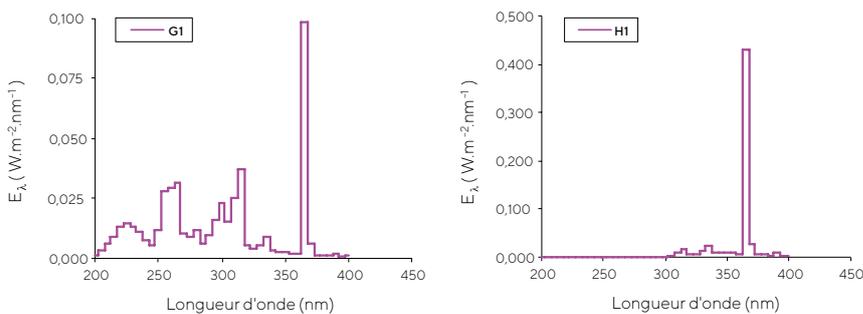
de 125 W également utilisée pour les arts graphiques (repérée H1). Les spectres donnés à la figure 6b permettent de vérifier que les lampes testées sont bien de même type que celles en service dans l'entreprise. Dans le cas de lampes spécifiques, des spectres en valeurs relatives sont en effet souvent fournis par le fabricant. On suppose, par exemple, que les distances réelles d'exposition sont respectivement de 2,5 m et 1 m pour les lampes G1 et H1. En se basant sur les figures 6c et 6d, il est alors possible de conclure que les durées d'exposition journalières maximales admissibles sont limitées à 4,5 min (lampe G1) et 3,5 h (lampe H1) pour le risque de kérato-conjonctivite et d'érythème déterminé à l'aide de la grandeur H_{eff} . Les durées d'exposition journalière sont plus élevées (> 8 h pour la lampe G1 et > 1 h pour la lampe H1) en ce qui concerne le risque de cataracte basé sur la grandeur H_{UVA} . C'est donc le risque H_{eff} qui déterminera les limites d'utilisation de ces deux lampes.

Figure 6/ Lampes à rayonnement ultraviolet –
Résultats d'évaluation des risques extraits de la publication référencée [10]

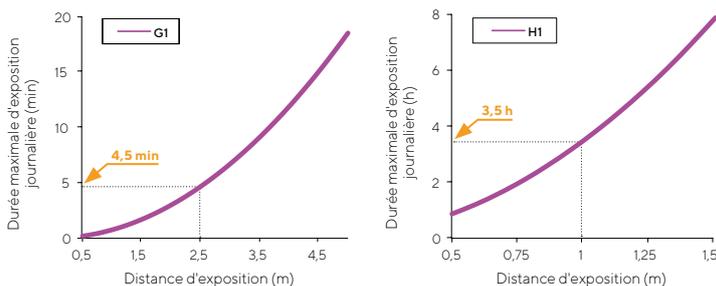
a) Référence des lampes

Lampe pour la photochimie	G1 (125 W)	Brûleur quartz à vapeur de mercure haute pression	<ul style="list-style-type: none"> - photochimie - polymérisation de colles et de vernis - spectrométrie
Lampe pour les arts graphiques	H1 (125 W)	Lampe à vapeur de mercure haute pression	<ul style="list-style-type: none"> - sérigraphie - durcissement des laques - agrandisseur - éclairage décoratif

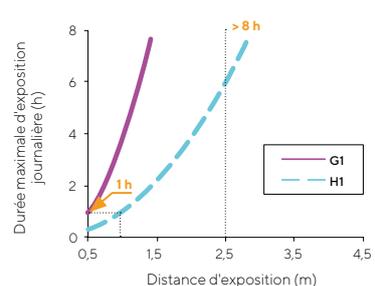
b) Répartition spectrale



c) Durée maximale d'exposition journalière en fonction de la distance d'exposition pour le risque de kératoconjonctivite et d'érythème (H_{eff})



d) Durée maximale d'exposition journalière en fonction de la distance d'exposition pour le risque de cataracte (H_{UVA})



Important : Ces calculs se rapportent à l'exposition à **une seule lampe**. Si **N** lampes de même type, de même puissance, sont en service, pour l'évaluation du risque dans le domaine ultraviolet uniquement, on pourra faire l'approximation suivante :
durée maximale d'exposition pour **N** lampes = durée maximale d'exposition pour **1** lampe / **N**.
En revanche, aucune approximation n'est possible sur la distance d'exposition car il n'existe pas de relation de proportionnalité entre l'éclairement énergétique reçu et la distance d'exposition.

• **Des sources de rayonnements optiques** sont couramment utilisées dans le milieu hospitalier. La publication référencée [34] fait un état des lieux des risques potentiels présentés par des lampes d'éclairage général, des scialytiques équipant les salles d'opération et diverses lampes à rayonnement ultraviolet. Un tableau extrait de cette publication (voir figure 7) montre les résultats obtenus sur des lampes à rayonnement ultraviolet. Pour chaque appareil ou lampe référencé dans le tableau, on connaît le domaine spectral analysé donc la grandeur quantifiée, ainsi que les conditions d'exposition : rayonnement direct ou indirect et la distance d'exposition. Le résultat est donné, comme dans l'exemple précédent, par la durée d'exposition maximale admissible. Ainsi, l'utilisation de l'appareil portable équipé de deux lampes émettant l'une à 254 nm et l'autre à 365 nm, conduit à des durées d'exposition maximales admissibles comprises entre 15 s et 1 h selon la lampe en service et les conditions d'exposition.

3.4.3 Évaluer les risques à l'aide d'un outil de simulation numérique : l'exemple de CatRayon

Présentation de CatRayon

CatRayon [8] est un logiciel d'évaluation de l'exposition aux rayonnements optiques dans les locaux de travail, développé par l'INRS. Il est téléchargeable librement à partir du site web de l'INRS. La version 5 du logiciel permet d'évaluer les risques, soit à partir des bases de données (environ 400 sources de rayonnements optiques : lampes, fours, arcs de soudage...), soit sur la base de sources génériques : lampes + réflecteurs ou fours, dont les caractéristiques sont définies par l'utilisateur.

Il est alors possible :

- d'évaluer les risques rapidement dans une configuration simplifiée : une source et un observateur ou dans des configurations complexes : plusieurs sources, plusieurs postes de travail fixes ou mobiles,
- de réaliser une cartographie des risques dans une zone de travail,
- de définir ou proposer des protections collectives et individuelles efficaces,
- d'éditer un rapport d'analyse consignnant l'ensemble des résultats.

L'évaluation des risques est basée sur les valeurs limites d'exposition réglementaires, mais il est également possible d'évaluer les risques selon les limites d'exposition recommandées par l'ICNIRP en 2013. Les angles d'admission pris en compte pour calculer les expositions sont ceux préconisés par l'ICNIRP (voir § 2.2. et annexe A).

Un guide d'utilisation détaillé ainsi qu'une fiche de prise en main rapide sont joints au logiciel.

Important : le logiciel prend en compte uniquement l'exposition au rayonnement direct émis par les sources. Dans la situation présentée sur la figure 3, par exemple, CatRayon permettra d'évaluer l'exposition directe au niveau des mains mais pas le rayonnement réfléchi par l'objet en direction des yeux.

Figure 7 / Tableau de résultats traduit en français et extrait d'une étude référencée [34] réalisée en milieu hospitalier

Risques relatifs à l'exposition à des sources UV portables							
Source UV portable	VLE (Cf. article)	Domaine spectral (nm)	Domaine de risque	Mode d'exposition	Distance (cm)	Durée maximale d'exposition hh.mm.ss	Organe touché
Cromatolux Pleuger	a	180-400	Actinique	Directe	45	0.00.28	Cornée, cristallin, conjonctive, peau
	a	180-400	Actinique	Directe	15	0.00.06	Peau
	a	180-400	Actinique	Réfléchie	15	0.10.00	Cornée, cristallin, conjonctive, peau
références de la source		domaine spectral analysé		conditions d'exposition		résultats : durée maximale d'exposition journalière	
Spectroline model ENF-240CFE	a	180-400	Actinique	Directe 254 nm	10	0.00.15	Cornée, cristallin, conjonctive, peau
	a	180-400	Actinique	Directe 365 nm	10	1.00.00	Cornée, cristallin, conjonctive, peau
	b	315-400	UVA	Directe 365 nm	10	0.15.00	Cristallin
	a	180-400	Actinique	Réfléchie 254 nm	5	0.07.00	Peau
Lampe germicide	a	180-400	Actinique	Directe	5	0.00.03	Peau
Lampe de Wood	a	180-400	Actinique	Directe	40	0.01.30	Cornée, cristallin, conjonctive, peau

Note : seules les expositions dépassant les VLE sont présentées.

Données d'entrée

La fenêtre de saisie dans une **configuration simplifiée (une source/un observateur)** est donnée à la figure 8. La première étape consiste, soit à sélectionner une source dans les différentes bases de données, soit à définir les caractéristiques d'un four ou d'une source composée d'une lampe et d'un luminaire. Il suffit ensuite de saisir la distance et la durée d'exposition.

L'évaluation des risques dans une **configuration complète** nécessite d'entrer séparément les caractéristiques des sources et celles des postes de travail fixes ou mobiles ou des zones de travail.

- La source est tout d'abord sélectionnée ou définie comme dans la configuration simplifiée, sa position et son orientation dans l'espace sont ensuite saisies (voir figure 9).
- Un poste de travail fixe est caractérisé par sa position dans l'espace et la durée d'exposition dans la tâche réalisée (voir figure 10a).
- Un poste de travail mobile correspond à un opérateur affecté à différentes tâches dans différents endroits d'un local. Il est alors nécessaire de définir pour chacune des tâches : la position dans le local, l'orientation du regard de l'opérateur et la durée d'exposition correspondante (voir figure 10c).
- Une zone de travail permet notamment d'évaluer l'exposition de personnes travaillant dans l'environnement des postes de travail. Il est possible de définir les dimensions de la zone de travail, le nombre de subdivisions sur sa longueur et sa largeur, sa position dans le local et la durée d'exposition correspondante (voir figure 10b).

Les fiches techniques des sources et les fiches d'exposition proposées au § 3.4.1 peuvent se révéler très utiles pour entrer les données dans CatRayon.

Résultats

Des exemples de résultats obtenus avec CatRayon pour les trois configurations de travail possibles sont présentés sur la figure 11. Les fenêtres de résultats comportent deux parties :

- l'une se rapportant aux aspects qualitatifs du risque, à savoir la nature du rayonnement en cause : ultraviolet, visible, infrarouge ainsi que les effets physiologiques associés,
- l'autre concerne les aspects quantitatifs et donne, sous forme graphique, les valeurs des indices de risque dans chaque domaine spectral, tel qu'expliqué ci-dessous.

L'indice de risque correspond au quotient du niveau d'exposition calculé sur la valeur limite d'exposition correspondante. Ainsi, **un indice de risque supérieur à 1 indique que la VLE est dépassée et donc qu'il existe un risque dans le domaine spectral considéré et dans les conditions décrites.**

À noter que les résultats fournis pour l'évaluation des risques dans la configuration simplifiée se présentent sous la même forme que ceux donnés à la figure 11b.

Proposition de moyens de protection

À la suite de l'analyse des risques, CatRayon propose également de lister les filtres de protection collective (protection à la source) ou individuelle efficaces à partir de ses bases de données de filtres.

Figure 8
Données d'entrée dans CatRayon pour une évaluation des risques dans une configuration simple



Figure 9
Entrée des caractéristiques d'une source dans CatRayon pour une évaluation des risques dans la configuration complète

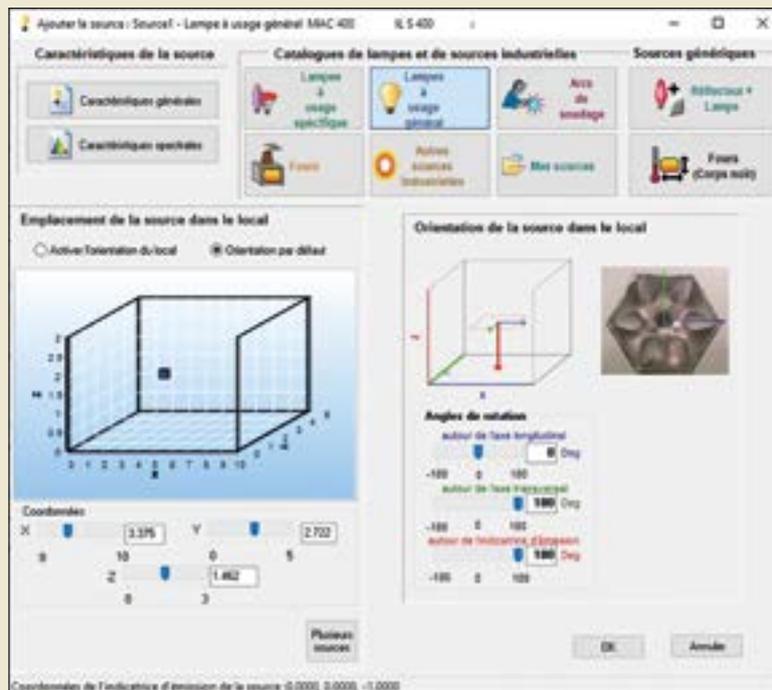
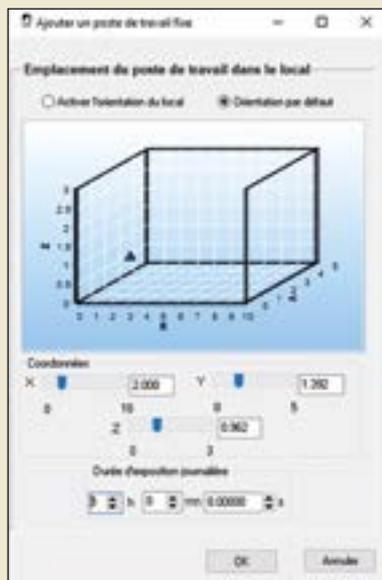
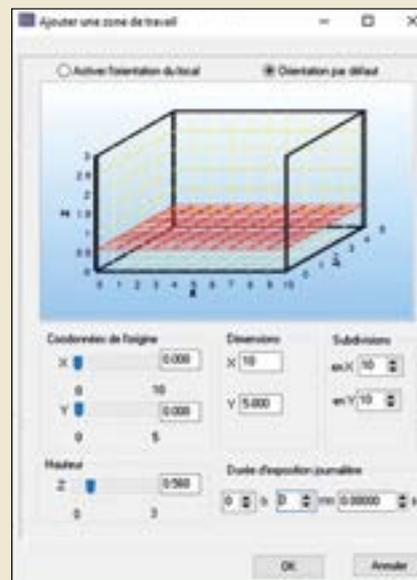


Figure 10 a, b, c
Entrée des caractéristiques
 d'un poste de travail fixe (a) ou mobile (c) ou d'une zone de travail (b)
 dans CatRayon pour une évaluation des risques dans la configuration complète

[a]



[b]



[c]

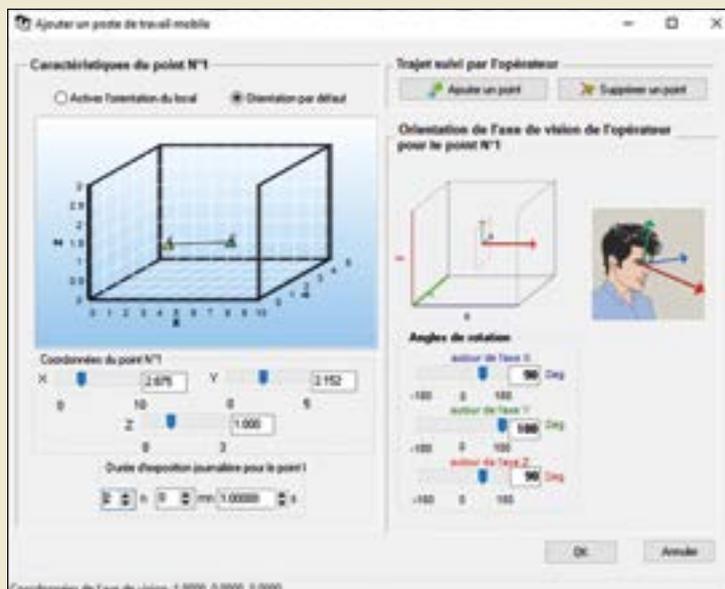
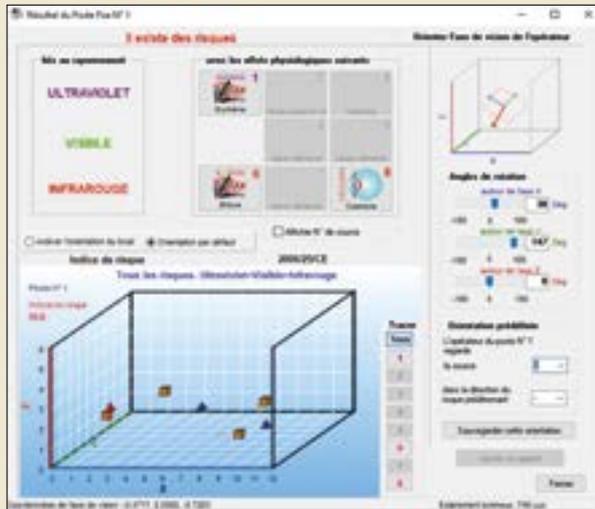


Figure 11 a, b, c
Exemples de résultats fournis par CatRayon
 pour les postes de travail fixes (a) ou mobiles (b) ou une zone de travail (c)

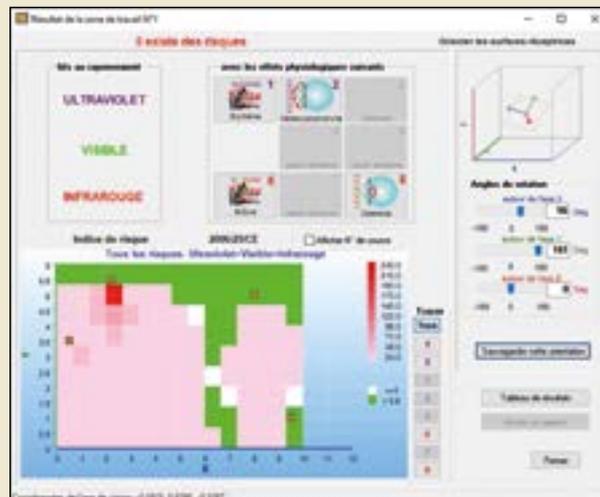
[a]



[b]



[c]





POUR EN SAVOIR PLUS

- Une formation intitulée « Prévenir les risques dus aux rayonnements optiques artificiels sur les lieux de travail » est dispensée par l'INRS. Elle aborde les différents risques présentés par les rayonnements optiques, les aspects réglementaires, la prise en mains du logiciel CatRayon, ainsi que l'évaluation des risques sans mesure au travers d'exemples pratiques et les solutions de protection envisageables.
- Rayonnements optiques et électromagnétiques au travail. Hors-série Hygiène et Sécurité du Travail. INRS, 2016
- Rayonnements optiques. Dossier web INRS, à consulter sur le site www.inrs.fr.



BIBLIOGRAPHIE

- [1] ACGIH – Threshold limit Values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. ACGIH, 2015
- [2] ICNIRP – Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths 180 nm to 400 nm (incoherent optical radiation). Health Phys. 2004 ; 87:171-86
- [3] ICNIRP – Guidelines on limits exposure to incoherent visible and infrared radiation. Health Phys. 2013 ; 105:74-91
- [4] ICNIRP – Statement – Protection of Workers against Ultraviolet Radiation. Health Phys. 2010 ; 99:66-87
- [5] Directive 2006/25/CE – Prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (rayonnements optiques artificiels). JOUE 114/38 du 27 avril 2006
- [6] Articles R. 4452-1 et suivants du Code du travail
- [7] Arrêté du 1^{er} mars 2016 relatif aux modalités de l'évaluation des risques résultant de l'exposition aux rayonnements optiques artificiels en milieu de travail. JO du 18 mars 2016. Texte 30
- [8] Logiciel d'évaluation de l'exposition aux rayonnements optiques dans les locaux de travail. CatRayon 5, INRS, 2018
- [9] Rayonnements lasers. Principe, application, risque et maîtrise du risque d'exposition. ED 6071, INRS, 2018
- [10] Barlier-Salsi A., Salsi S. – Lampes à rayonnement ultraviolet – Quantification des risques associés à leur utilisation. Cahier des notes documentaires, 1998 ;170:49-56
- [11] Salsi S., Barlier-Salsi A. – Exposition aux dispositifs d'éclairage scénique : risque pour la santé des professionnels du spectacle vivant ou enregistré. Radioprotection. 2013 ; 48:391-410
- [12] Salsi S., Barlier A. – Rayonnements optiques dans les verreries à main – Étude de 21 postes de travail. Cahier des notes documentaires, 1987;126:75-87
- [13] Barlier A. – Rayonnements optiques dans une forge – Mesures et moyens de protection. Cahier des notes documentaires, 1994;155:181-93
- [14] Barlier A., Salsi S. – Rayonnement infrarouge et cataracte. Évaluation des risques à proximité d'un four à induction. Cahier des notes documentaires, 1995;161:469-75

- [15] Salsi S., Barlier A. – Rayonnements optiques émis lors du soudage à l'arc avec électrodes enrobées – Risques et moyens de prévention. Cahier des notes documentaires, 1991;143:223-33
- [16] Sensibilisation à l'exposition aux rayonnements optiques artificiels (ROA) sur les lieux de travail (hormis les lasers et appareils à laser). ED 6113, INRS, 2011
- [17] Mesurer et évaluer l'exposition professionnelle aux rayonnements optiques artificiels (hors laser). Guide méthodologique. NS 347, INRS, 2016
- [18] Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED). Anses, 2010
- [19] Directive 2014/35/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 février 2014 relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant la mise à disposition sur le marché du matériel électrique destiné à être employé dans certaines limites de tension. JOUEL 96/357 du 29 mars 2014
- [20] Décret n° 2015-1083 du 27 août 2015 relatif à la mise à disposition sur le marché du matériel électrique destiné à être employé dans certaines limites de tension. JO du 29 août 2015. Texte 43
- [21] Directive 2006/42/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE. JOUE 157/24 du 9 juin 2006
- [22] EN 12198-1 – Sécurité des machines. Estimation et réduction des risques engendrés par les rayonnements émis par les machines. Afnor, 2000
- [23] EN 62471 – Sécurité photobiologique des lampes et appareils utilisant des lampes. Afnor, 2008
- [24] Guide à caractère non contraignant pour la mise en œuvre de la directive 2006/25/CE sur les rayonnements optiques artificiels. À consulter sur le site de la Commission européenne : ec.europa.eu/commission/index_fr
- [25] Service public fédéral Emploi, Travail et Concertation sociale. Rayonnements optiques artificiels. À consulter sur le site www.emploi-belgique.be
- [26] Fiches techniques de la SFRP. Lampes à LED et risque rétinien. À consulter sur le site www.sfrp.asso.fr
- [27] Martinsons C., Zisis G. – Solid State Lighting Annex: Potential Health Issues of SSL. International Energy Agency, 2014
- [28] Gauthier M.A., Morelot Q., Deniel J.M., Barlier-Salsi A. – Exposition à la lumière bleue. Quels sont les risques ? Quel serait l'intérêt de lunettes à filtre anti-lumière bleue ? Références en santé au travail 2016; QR 113:121-3
- [29] Rayonnements optiques/ Éclairage à LED. Dossier web, INRS. À consulter sur le site www.inrs.fr
- [30] Sliney D.H., Gilbert D.W., Lyon T. – Ultraviolet safety assessments of insect light traps. J. Occup. Environ. Hyg. 2016;13:413-24
- [31] Price R.B.T., Labrie D., Bruzell E.M., Sliney D.H., Strassler H.E. – The dental curing light: A potential health risk. J. Occup. Environ. Hyg. 2016;13:639-46

- [32] Olanrewaju M. Oriowo, B. Ralph Chou, Anthony P. Cullen – Glassblowers’ ocular health and safety: optical radiation hazards and eye protection assessment. *Ophthal. Physiol. Opt.* 1997;17:216-24
- [33] Lydalhi E., Glansholm A., Levin M. – Ocular exposure to infrared radiation in Swedish iron and steel industry. *Health Phys.* 1983;46:529-36
- [34] Cavatorta C., Lualdi M., Meroni S., Polita G., Bolchi M., Pignoli E. – A survey of sources of incoherent artificial optical radiation in a hospital environment in accordance with European Directive 2006/25/EC: evaluation of the related exposure risk. *J. Radiol. Prot.* 2016;36:144-62
- [35] Murray W. E. – Ultraviolet radiation exposures in a microbacteriology laboratory. *Health Phys.* 1990;58:507-10
- [36] Hietanen M.T.K., Hoikkala M. – Ultraviolet Radiation and Blue Light from Photofloods in Television Studios and Theaters. *Health Phys.*, 1990;59
- [37] O’Hagan J.B., Khazova M., Jones C. – Ultraviolet emission from HMI daylight luminaires. *Light Res. Technol.*, 2011; 43:249-57
- [38] Rayonnements optiques et électromagnétiques au travail. Hors-série Hygiène & sécurité du travail, INRS, 2016
- [39] NF EN 14255-1 – Mesurage et évaluation de l’exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents. Partie 1 : Rayonnements ultraviolets émis par des sources artificielles sur les lieux de travail. Afnor, 2005
- [40] NF EN 14255-2 – Mesurage et évaluation de l’exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents. Partie 2 : Rayonnements visibles et infrarouges émis par des sources artificielles sur les lieux de travail. Afnor, 2006
- [41] NF EN 169 – Protection individuelle de l’œil. Filtres pour le soudage et les techniques connexes. Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée. Afnor, 2003
- [42] NF EN 170 – Protection individuelle de l’œil. Filtres pour l’ultraviolet. Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée. Afnor, 2003
- [43] NF EN 171 – Protection individuelle de l’œil. Filtres pour l’infrarouge. Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée. Afnor, 2002
- [44] NF EN 172 – Protection individuelle de l’œil. Filtres de protection solaire pour usage industriel. Afnor, 1995



ANNEXES

Annexe A

Spécifications pour la détermination des grandeurs exprimées en luminance énergétique

Figure A1 / Représentation des relations possibles entre la taille de la source vue sous un angle α et l'angle d'admission γ à prendre en compte selon la durée d'exposition

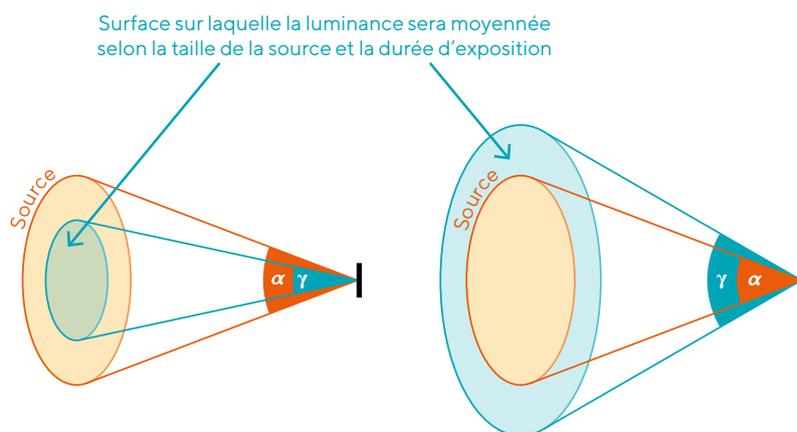


Tableau A1 / Spécification des angles d'admission pour déterminer L_B dans le champ de visée

Domaine spectral	Grandeur à mesurer	Angle d'admission γ selon ICNIRP [3]	Diamètre de la zone visée à une distance de 1 m (exemple)
300 - 700 nm	L_B	0,011 rad (0,63°) pour $t < 100$ s	11 mm
		0,0011.t ^{0.5} rad pour $100 \leq t \leq 10\ 000$ s	-
		0,110 rad (6,3°) pour $t > 10\ 000$ s	11 cm

Tableau A2 / Spécification des angles d'admission pour déterminer L_R dans le champ de visée

Domaine spectral	Grandeur à mesurer	Angle d'admission γ selon ICNIRP [3]	Diamètre de la zone visée à une distance de 1 m (exemple)
380 - 1400 nm	L_R	0,005 rad (0,29°) Source pulsée	5 mm
		0,011 rad (0,63°) Source continue ($t \geq 0,25$ s)	11 mm

Annexe B

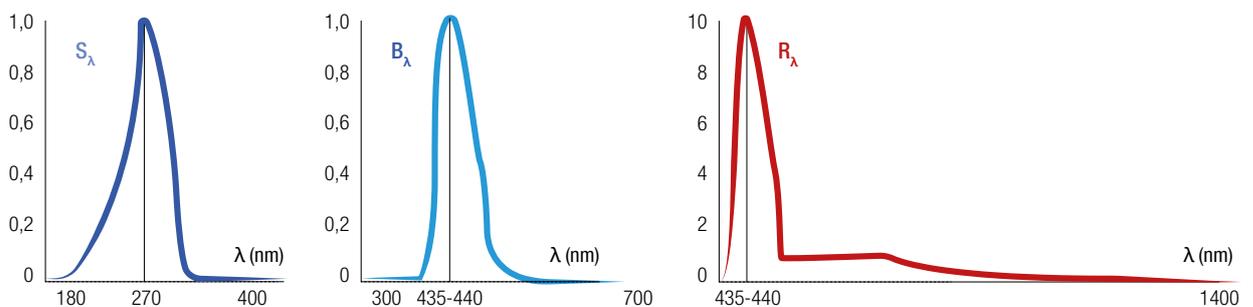
Grandeurs à déterminer

Tableau B1 / Grandeurs à déterminer pour évaluer les risques

Domaine spectral	Grandeurs à déterminer
180 – 400 nm	$E_{eff} = \sum_{180}^{400} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$
315 – 400 nm	$E_{UVA} = \sum_{315}^{400} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$
300 – 700 nm	$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$
	$E_B = \sum_{300}^{700} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$
380 – 1400 nm	$L_R = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$
780 – 1400 nm	$L_R = \sum_{780}^{1400} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$
780 – 3 000 nm	$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$
380 – 3 000 nm	$H_{Peau} = E_{Peau} \cdot t \quad \text{avec} \quad E_{Peau} = \sum_{380}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$

λ : Longueur d'onde en nm
 $\Delta\lambda$: Largeur de bande en nm
 E_{λ} : Éclairement énergétique spectrique en $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$
 L_{λ} : Luminance énergétique spectrique en $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$
 t : Durée d'exposition journalière en s

Figure B1 / Courbes de pondération spectrale (sans dimension), relatives aux effets du rayonnement ultraviolet sur les yeux et la peau $S(\lambda)$, aux lésions rétinienne par effet photochimique de la lumière bleue $B(\lambda)$ et aux lésions rétinienne par effet thermique $R(\lambda)$



Annexe C

Groupes de risque définis dans les normes EN 12198 et EN 62471

Groupes de risque définis dans la norme EN 12198

La norme EN 12198 classe les machines en trois catégories selon le niveau de rayonnement qu'elles émettent.

Le classement dans une catégorie dépend de la valeur des grandeurs radiométriques E_{eff} , E_B , L_B et E_{IR} (définies dans le tableau B1) mesurées à 10 cm de la surface accessible de la machine. Les limites de chaque catégorie sont présentées dans le tableau C1.

Les prescriptions de sécurité correspondant à chacune des catégories sont données dans le tableau C2.

Groupes de risque définis dans la norme EN 62471

La norme EN 62471 définit quatre groupes de risque pour classer les lampes selon le niveau de rayonnement qu'elles émettent. Le classement dans un groupe de risque dépend de la durée d'exposition journalière maximale admissible (notée t dans le tableau) pour que les valeurs des grandeurs H_{eff} , H_{UVA} , L_B , L_R et E_{IR} (définies dans le tableau B1) soient inférieures aux VLE (définies dans le tableau 1) imposées par la directive européenne 2006/25/CE [5]. Les grandeurs radiométriques nécessaires à l'évaluation des risques sont mesurées à une distance qui produit un éclairement de 500 lux pour les lampes d'utilisation courantes destinées à l'éclairage d'espaces qui sont classiquement occupés par des individus. La distance de mesure est de 20 cm pour tous les autres types de lampes comme celles utilisées pour les projections cinématographiques, les processus de reproduction, le bronzage, les processus industriels, les traitements médicaux ou les projecteurs de lumière. Les limites de chaque groupe de risque sont présentées dans le tableau C3.

Tableau C1 / **Classification des machines selon leurs niveaux d'émission de rayonnement selon la norme EN 12198**

Catégorie	E_{eff} [180-400 nm] (W.m^{-2})	E_B [400-700 nm] (W.m^{-2})	L_B [400-700 nm] ($\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$)	E_{IR} [700-10 000 nm] (W.m^{-2})
		Pour $\alpha < 11$ mrad	Pour $\alpha \geq 11$ mrad	
0	$\leq 0,1.10^{-3}$	$\leq 1,0.10^{-3}$	≤ 10	≤ 33
1	$0,1.10^{-3} < E_{\text{eff}} \leq 1,0.10^{-3}$	$1,0.10^{-3} < E_B \leq 10.10^{-3}$	$10 < L_B \leq 100$	$33 < E_{\text{IR}} \leq 100$
2	$> 1,0.10^{-3}$	$> 10.10^{-3}$	> 100	> 100

Tableau C2 / **Prescriptions de sécurité applicables selon la catégorie de la machine selon la norme EN 12198**

Catégorie	Restrictions et mesures de protection	Information et formation
0	Aucune restriction	Aucune information nécessaire
1	Restrictions : limitation d'accès, mesures de protection éventuellement nécessaires	Informations sur les phénomènes dangereux, les risques et les effets secondaires
2	Restrictions particulières et mesures de protection indispensables	Informations sur les phénomènes dangereux, les risques et les effets secondaires ; formation éventuellement nécessaire

Tableau C3 / **Classification des lampes selon leurs niveaux d'émission de rayonnement selon la norme EN 62471**

Groupe de risque	0 Sans risque	1 Risque faible	2 Risque modéré	3 Risque élevé
$H_{\text{eff}} \leq \text{VLE pour}$	$t = 30\ 000$ s (8 h)	$t = 10\ 000$ s	$t = 1\ 000$ s	$t < 1\ 000$ s
$H_{\text{UVA}} \leq \text{VLE pour}$	$t = 1\ 000$ s (16 min)	$t = 300$ s	$t = 100$ s	$t < 100$ s
$L_B \leq \text{VLE pour}$	$t = 10\ 000$ s (2,8 h)	$t = 100$ s	$t = 0,25$ s	$t < 0,25$ s
$L_R \leq \text{VLE pour}$	$t = 10$ s	$t = 10$ s	$t = 0,25$ s	$t < 0,25$ s
$E_{\text{IR}} \leq \text{VLE pour}$	$t = 1\ 000$ s (16 min)	$t = 100$ s	$t = 10$ s	$t < 10$ s

Annexe D

Désinsectiseur électronique : exemple extrait du guide européen [24]

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

Sélection des limites d'exposition

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

Facteurs géométriques

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

Chaque lampe mesure en moyenne 13,5 cm.

Par conséquent $\alpha = 0,135$ rad.

La surface de chaque lampe mesure 26 cm².

Par conséquent $\omega = 0,0026$ sr.

Donc $\omega_B = 0,01$ sr et $\omega_R = 0,0026$ sr.

Données radiométriques

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

- Éclairement énergétique efficace

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

- Éclairement énergétique UVA

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

- Éclairement énergétique efficace (lumière bleue)

$$E_B = 17 \text{ mW m}^{-2} = 8,5 \text{ mW m}^{-2} \text{ par lampe}$$

- Éclairement énergétique efficace (lésion thermique)

$$E_R = 172 \text{ mW m}^{-2} = 86 \text{ mW m}^{-2} \text{ par lampe}$$

Hypothèses simplificatrices

Luminance énergétique efficace (lumière bleue)

$$L_B = 8,5 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ sr} = 0,85 \text{ W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$$

Luminance énergétique efficace (lésion thermique)

$$L_R = 86 \text{ mW m}^{-2} / 0,0026 \text{ sr} = 33 \text{ W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$$

Limite a

Limite d'exposition :
 $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$



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



Le temps d'exposition maximale
permissible est > 8 heures

Limite b

Limite d'exposition :
 $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$



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



Le temps d'exposition maximale
permissible est > 8 heures

Limite d

Limite d'exposition :
 $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$



$$L_{\text{B}} = 0,85 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$



La limite d'exposition n'est pas
dépassée

Limite g

Limite d'exposition :
 $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$



$$L_{\text{R}} = 33 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$



La limite d'exposition n'est pas
dépassée

Pour commander les brochures et les affiches de l'INRS,
adressez-vous au service Prévention de votre Carsat, Cramif ou CGSS.

Services Prévention des Carsat et de la Cramif

Carsat ALSACE-MOSELLE

(67 Bas-Rhin)
14, rue Adolphe-Seyboth
CS 10392
67010 Strasbourg cedex
tél. 03 88 14 33 00
fax 03 88 23 54 13
prevention.documentation@carsat-am.fr
www.carsat-alsacemoselle.fr

(57 Moselle)
3, place du Roi-George
BP 31062
57036 Metz cedex 1
tél. 03 87 66 86 22
fax 03 87 55 98 65
www.carsat-alsacemoselle.fr

(68 Haut-Rhin)
11, avenue De-Lattre-de-Tassigny
BP 70488
68018 Colmar cedex
tél. 03 69 45 10 12
fax 03 89 21 62 21
www.carsat-alsacemoselle.fr

Carsat AQUITAINE

(24 Dordogne, 33 Gironde,
40 Landes, 47 Lot-et-Garonne,
64 Pyrénées-Atlantiques)
80, avenue de la Jallère
33053 Bordeaux cedex
tél. 05 56 11 64 36
documentation.prevention@
carsat-aquitaine.fr
www.carsat-aquitaine.fr

Carsat AUVERGNE

(03 Allier, 15 Cantal,
43 Haute-Loire,
63 Puy-de-Dôme)
Espace Entreprises
Clermont République
63036 Clermont-Ferrand cedex 9
tél. 04 73 42 70 19
fax 04 73 42 70 15
offredoc@carsat-auvergne.fr
www.carsat-auvergne.fr

Carsat BOURGOGNE - FRANCHE-COMTÉ

(21 Côte-d'Or, 25 Doubs,
39 Jura, 58 Nièvre,
70 Haute-Saône,
71 Saône-et-Loire, 89 Yonne,
90 Territoire de Belfort)
46, rue Elsa-Triolet
21044 Dijon cedex
tél. 03 80 33 13 92
fax 03 80 33 19 62
documentation.prevention@carsat-bfc.fr
www.carsat-bfc.fr

Carsat BRETAGNE

(22 Côtes-d'Armor, 29 Finistère,
35 Ille-et-Vilaine, 56 Morbihan)
236, rue de Châteaugiron
35030 Rennes cedex 09
tél. 02 99 26 74 63
fax 02 99 26 70 48
drp.cdi@carsat-bretagne.fr
www.carsat-bretagne.fr

Carsat CENTRE - VAL DE LOIRE

(18 Cher, 28 Eure-et-Loir, 36 Indre,
37 Indre-et-Loire, 41 Loir-et-Cher, 45 Loiret)
36, rue Xaintraillies
CS44406
45044 Orléans cedex 1
tél. 02 38 79 70 21
prev@carsat-centre.fr
www.carsat-cvl.fr

Carsat CENTRE-OUEST

(16 Charente, 17 Charente-Maritime,
19 Corrèze, 23 Creuse, 79 Deux-Sèvres,
86 Vienne, 87 Haute-Vienne)
TSA 34809
87048 Limoges cedex
tél. 05 55 45 39 04
fax 05 55 45 71 45
cirp@carsat-centreouest.fr
www.carsat-centreouest.fr

Cram ÎLE-DE-FRANCE

(75 Paris, 77 Seine-et-Marne,
78 Yvelines, 91 Essonne,
92 Hauts-de-Seine, 93 Seine-Saint-Denis,
94 Val-de-Marne, 95 Val-d'Oise)
17-19, place de l'Argonne
75019 Paris
tél. 01 40 05 32 64
fax 01 40 05 38 84
prevdocinrs.cramif@assurance-maladie.fr
www.cramif.fr

Carsat LANGUEDOC-ROUSSILLON

(11 Aude, 30 Gard, 34 Hérault,
48 Lozère, 66 Pyrénées-Orientales)
29, cours Gambetta
34068 Montpellier cedex 2
tél. 04 67 12 95 55
fax 04 67 12 95 56
prevdoc@carsat-lr.fr
www.carsat-lr.fr

Carsat MIDI-PYRÉNÉES

(09 Ariège, 12 Aveyron, 31 Haute-Garonne,
32 Gers, 46 Lot, 65 Hautes-Pyrénées,
81 Tarn, 82 Tarn-et-Garonne)
2, rue Georges-Vivent
31065 Toulouse cedex 9
doc.prev@carsat-mp.fr
www.carsat-mp.fr

Carsat NORD-EST

(08 Ardennes, 10 Aube, 51 Marne,
52 Haute-Marne, 54 Meurthe-et-Moselle,
55 Meuse, 88 Vosges)
81 à 85, rue de Metz
54073 Nancy cedex
tél. 03 83 34 49 02
documentation.prevention@carsat-nordest.fr
www.carsat-nordest.fr

Carsat NORD-PICARDIE

(02 Aisne, 59 Nord, 60 Oise,
62 Pas-de-Calais, 80 Somme)
11, allée Vauban
59662 Villeneuve-d'Ascq cedex
tél. 03 20 05 60 28
fax 03 20 05 79 30
bedprevention@carsat-nordpicardie.fr
www.carsat-nordpicardie.fr

Carsat NORMANDIE

(14 Calvados, 27 Eure, 50 Manche,
61 Orne, 76 Seine-Maritime)
Avenue du Grand-Cours
CS 36028
76028 Rouen cedex 1
tél. 02 35 03 58 22
fax 02 35 03 60 76
prevention@carsat-normandie.fr
www.carsat-normandie.fr

Carsat PAYS DE LA LOIRE

(44 Loire-Atlantique, 49 Maine-et-Loire,
53 Mayenne, 72 Sarthe, 85 Vendée)
2, place de Bretagne
44932 Nantes cedex 9
tél. 02 51 72 84 08
fax 02 51 82 31 62
documentation.rp@carsat-pl.fr
www.carsat-pl.fr

Carsat RHÔNE-ALPES

(01 Ain, 07 Ardèche, 26 Drôme, 38 Isère,
42 Loire, 69 Rhône, 73 Savoie,
74 Haute-Savoie)
26, rue d'Aubigny
69436 Lyon cedex 3
tél. 04 72 91 97 92
fax 04 72 91 98 55
prevention.doc@carsat-ra.fr
www.carsat-ra.fr

Carsat SUD-EST

(04 Alpes-de-Haute-Provence,
05 Hautes-Alpes, 06 Alpes-Maritimes,
13 Bouches-du-Rhône, 2A Corse-du-Sud,
2B Haute-Corse, 83 Var, 84 Vaucluse)
35, rue George
13386 Marseille cedex 20
tél. 04 91 85 85 36
documentation.prevention@carsat-sudest.fr
www.carsat-sudest.fr

Services Prévention des CGSS

CGSS GUADELOUPE

Espace Amédée Fengarol, bât. H
Parc d'activités La Providence, ZAC de Dothémare
97139 Les Abymes
tél. 05 90 21 46 00 – fax 05 90 21 46 13
risquesprofessionnels@cgss-guadeloupe.fr
www.preventioncgss971.fr

CGSS GUYANE

CS 37015
97307 Cayenne cedex
tél. 05 94 29 83 04 – fax 05 94 29 83 01
prevention-rp@cgss-guyane.fr

CGSS LA RÉUNION

4, boulevard Doret, CS 53001
97741 Saint-Denis cedex 9
tél. 02 62 90 47 00 – fax 02 62 90 47 01
prevention@cgss.re
www.cgss-reunion.fr

CGSS MARTINIQUE

Quartier Place-d'Armes,
97210 Le Lamentin cedex 2
tél. 05 96 66 51 31 et 05 96 66 76 19 – fax 05 96 51 81 54
documentation.atmp@cgss-martinique.fr
www.cgss-martinique.fr

La réglementation impose d'évaluer l'exposition des travailleurs aux rayonnements optiques artificiels. Les textes n'imposent pas le mesurage, cependant il n'est pas toujours simple d'évaluer les risques sans mesure : où trouver l'information nécessaire, comment exploiter les documents ou quels sont les moyens de calcul disponibles.

Ce guide propose de répondre à ces interrogations. Il s'adresse plus particulièrement aux personnes ayant des compétences techniques en prévention des risques professionnels : agents des services de prévention des Carsat-Cramif-CGSS, intervenants en prévention des risques professionnels (IPRP), ingénieurs et techniciens des services HSE des entreprises...

Il rappelle les valeurs limites d'exposition associées à chacun des risques, dresse un état des principaux documents disponibles pour réaliser la première étape d'évaluation des risques et décrit les moyens de calculs existants pour quantifier les niveaux d'exposition, et notamment le logiciel CatRayon.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • Tél. 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

Édition INRS ED 6343

1^{re} édition • décembre 2019 • 3 000 ex. • ISBN : 978-2-7389-2497-1

▶ L'INRS est financé par la Sécurité sociale - Assurance maladie / Risques professionnels ◀

www.inrs.fr

YouTube

