

Décryptage

RISQUES PHOTOBIOLOGIQUES LIÉS AUX ÉQUIPEMENTS DE DÉSINFECTION UV-C ET MESURES DE PRÉVENTION

Pour lutter contre la propagation de la Covid-19, le recours à des dispositifs de désinfection basés sur l'émission de rayonnements ultraviolets s'est largement répandu. Ces dispositifs s'appuient sur l'utilisation de lampes dites « germicides » émettrices d'UV-C, d'apparence faciles à utiliser. Néanmoins, les risques optiques et cutanés sont réels et certains dispositifs ne permettent pas d'exclure la présence des salariés dans les zones en cours de désinfection ou visent directement la désinfection de la peau. Différents textes réglementaires encadrent cette pratique, les surexpositions aux UV-C peuvent présenter des conséquences sanitaires graves. Cet article fait le point sur l'évaluation des risques photobiologiques (optiques et cutanés) associés à ces applications et aborde les questions de réglementation et de prévention.

PHOTOBIOLOGICAL RISKS LINKED TO UV-C DISINFECTION EQUIPMENT AND PREVENTIVE MEASURES – *To stem the propagation of Covid-19, the use of disinfection systems based on ultraviolet radiation has risen considerably. These systems rely on the use of “germicidal” lamps that emit UV-C light, and are apparently easy to use. Nevertheless, they represent real risks for the eyes and skin, and with some systems workers cannot be excluded from work areas during their disinfection, while others are designed to disinfect the skin directly. Overexposure to UV-C can have serious health consequences, and various regulatory texts present guidelines use of this type of radiation for disinfection purposes. This article reviews the risk assessment for photobiological (optical and skin) risks associated with these applications, and addresses the questions of their regulation and prevention.*

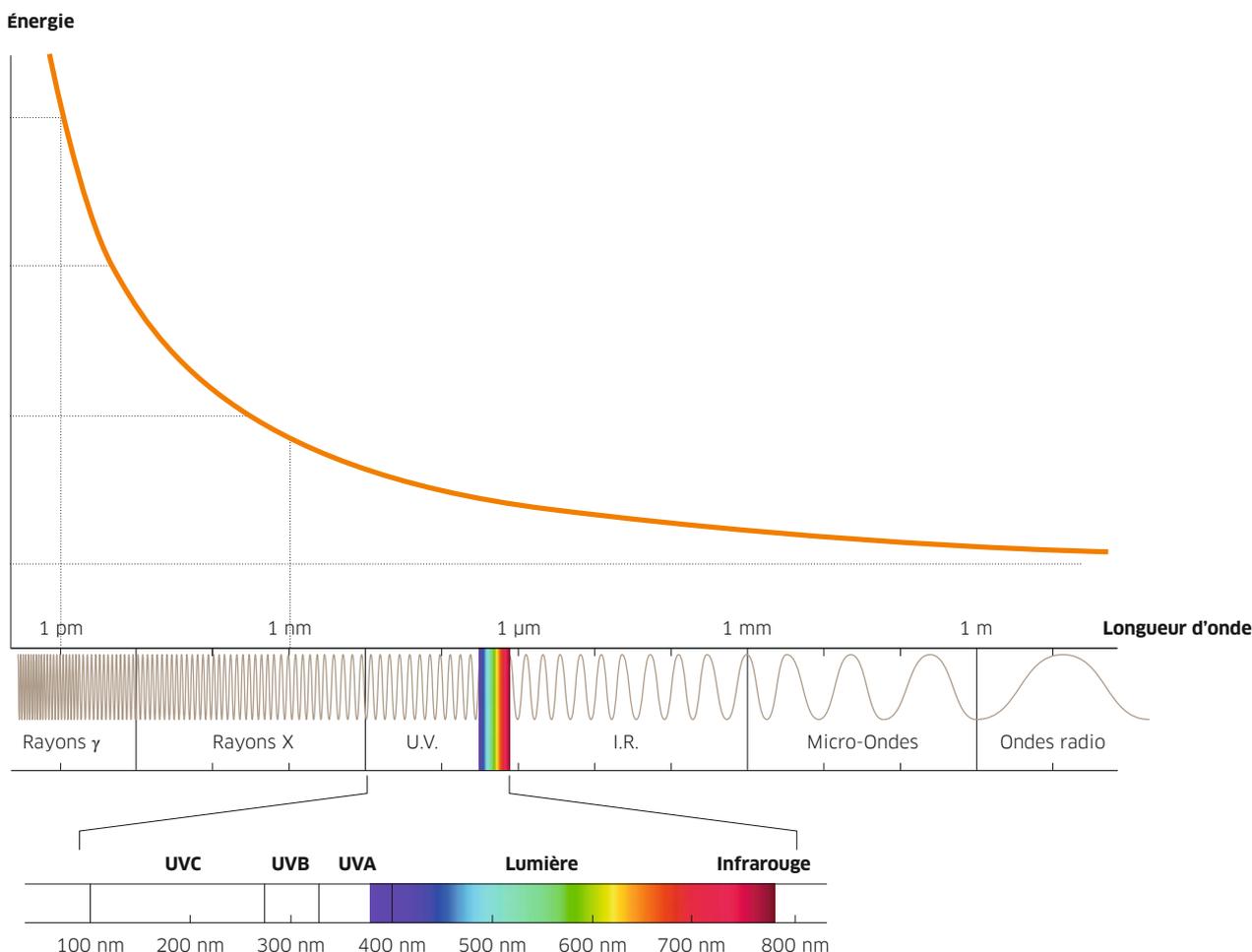
DAMIEN
BRISSINGER,
JEAN-MARC
DENIEL
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

Contexte

En réaction à la pandémie de Covid-19, les solutions de désinfection basées sur l'utilisation des rayonnements ultraviolets, plus particulièrement les UV-C, ont bénéficié d'un regain d'intérêt dans de nombreux secteurs d'activité. Les rayonnements UV-C sont utilisés depuis plusieurs décennies dans divers processus, tels que la désinfection de matériel, le nettoyage des graisses par photocatalyse, l'assainissement de l'eau ou de l'air, etc. Les solutions proposées s'appuient sur l'utilisation de lampes dites « germicides » disponibles sur le marché. Aussi simples à utiliser que des lampes d'éclairage classiques, ces lampes, émettant des

UV-C, sont promues par leurs fabricants ou vendeurs comme permettant de réduire l'usage de certains produits chimiques. Cette solution est ainsi bien ancrée dans divers milieux professionnels (hospitalier, agroalimentaire...) pour stériliser des instruments chirurgicaux ou les contenants alimentaires, par exemple. L'offre s'est récemment diversifiée, avec l'apparition de solutions aux finalités très diverses : désinfection de locaux ou d'habitacles de véhicule, d'objets d'usage courant (masques, téléphones, clés...), des mains, etc. Qu'il s'agisse de désinfection ou d'autres domaines d'application, l'utilisation des ultraviolets n'est pas une technique émergente. Les risques associés





↑ FIGURE 1 Représentation du spectre électromagnétique et de l'énergie portée par un photon en fonction de sa longueur d'onde.

sont bien connus. L'étude des effets à court et long terme des ultraviolets sur l'humain a montré l'existence de risques pour l'œil et la peau. Les lésions provoquées par des surexpositions aiguës sont caractérisées par l'apparition d'érythèmes sur la peau (« coup de soleil ») ou de photo-kératoconjunctivites à l'œil (le fameux « coup d'arc », bien connu des soudeurs). L'exposition chronique aux UV accroît également le risque de cancers cutanés.

Afin de protéger les salariés, le Code du travail prend en compte l'ensemble des risques liés à l'exposition aux UV. Il impose des valeurs limites d'exposition (VLE) concernant l'exposition de l'œil et de la peau. De plus, le marquage CE, obligatoire pour la commercialisation en Europe des appareils émetteurs de rayonnements optiques, s'appuie sur l'évaluation et le classement des sources par groupe de risque, selon la norme NF EN 62471 [1]. L'affichage obligatoire des groupes de risque les plus élevés est un outil de prévention important, puisqu'il informe les utilisateurs quant aux mesures de prévention nécessaires.

Les rayonnements ultraviolets et les UV-C

Les rayonnements optiques sont composés de photons caractérisés par leur longueur d'onde, notée λ (unités les plus communément utilisées : nm, µm). L'énergie des photons est inversement proportionnelle à leur longueur d'onde (Cf. Figure 1)¹. L'énergie ou la longueur d'onde détermine la nature des interactions entre la lumière (les photons) et la matière. Ainsi, comparer l'énergie des photons à l'énergie de liaison des électrons ou des atomes permet de prévoir les réactions induites par absorption. Les rayonnements infrarouges (IR, $\lambda > 780$ nm) et visibles ($380 \text{ nm} \leq \lambda \leq 780 \text{ nm}$) présentent des longueurs d'onde plus longues et donc, leurs photons ont une énergie moindre que celle des photons UV. Les photons IR ne transportent pas assez d'énergie pour altérer chimiquement la matière. Leur absorption provoque un échauffement, comme on peut le ressentir sous des lampes IR (chauffage de terrasse, couveuse d'élevage). L'énergie des photons visibles est supérieure à celle des photons IR. Elle provoque des échauffements de la matière et des réactions chimiques dans les

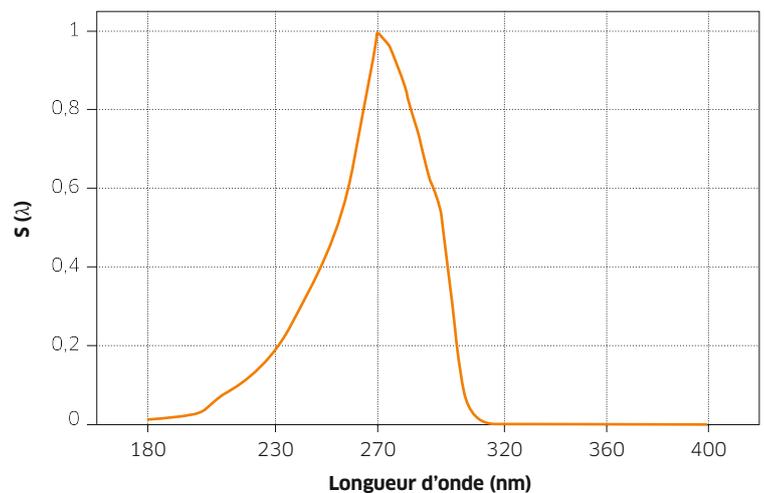
cellules spécialisées de la rétine, ce qui rend ces photons perceptibles à l'œil humain. Les rayonnements ionisants (rayonnements X et Gamma) ont des longueurs d'onde inférieures à 100 nm : leur énergie peut ioniser la matière, c'est-à-dire arracher les électrons aux atomes. Entre la lumière visible et les rayonnements ionisants, la lumière ultraviolette désigne les rayonnements de longueurs d'onde entre 100 et 400 nm. Cette position particulière explique en partie la spécificité des UV, dont l'énergie permet de modifier les liaisons chimiques de certaines molécules. On parle de « photo-activation » ou de « photo-catalyse ». Ces réactions sont impliquées dans divers processus : nettoyage des graisses dans les hottes de cuisine, vitrages autonettoyants, etc. Les UV-A et B ont respectivement des longueurs d'onde comprises entre 315 et 400 nm, et entre 280 et 315 nm. L'homme, les animaux et les plantes sont quotidiennement exposés à ces rayonnements émis par le soleil. Le corps humain bénéficie des modifications chimiques provoquées par l'absorption de photons UV-B pour synthétiser la vitamine D. À des doses raisonnables, l'exposition au rayonnement UV-B solaire peut être bénéfique. Les UV-C ont les longueurs d'onde les plus courtes, de 100 à 280 nm : ce sont les photons non ionisants les plus énergétiques. L'atmosphère terrestre les filtre entièrement : les organismes vivants ne sont exposés à ces rayonnements qu'au contact de sources artificielles (lampes). Ils ont la propriété de léser les molécules d'ADN (ou d'ARN), entraînant ainsi des effets mutagènes et cancérogènes. Les UV-C sont ainsi utilisés, de par leur action destructrice, sur un grand nombre de molécules (notamment celles qui constituent les parois cellulaires et les acides nucléiques ADN, ARN) pour les applications de désinfection. Mais la recherche d'efficacité dans le domaine de la désinfection par UV-C est indissociable d'un risque pour l'homme, qu'il est nécessaire d'évaluer.

Évaluation du niveau d'exposition et valeur limite réglementaire

L'évaluation de la dose reçue lors d'une exposition aux rayonnements UV dépend de quatre paramètres : la longueur d'onde, l'éclairement énergétique, la durée de l'exposition et l'orientation de la surface éclairée par rapport à la source. En fonction de la longueur d'onde, la sensibilité aux rayonnements UV de la peau et de l'œil varie selon :

- le taux d'absorption par les tissus ;
- la profondeur de pénétration.

Afin de prendre en compte ces caractéristiques, la réglementation considère la courbe $S(\lambda)$ entre $\lambda = 180$ et $\lambda = 400$ nm pour pondérer la sensibilité de l'œil et de la peau (Cf. Figure 2).



La courbe $S(\lambda)$ présente sur cette Figure 2 a été obtenue en laboratoire, *via* l'exposition contrôlée de parcelles de peau à différentes longueurs d'onde et la mesure de la dose énergétique de rayonnement provoquant l'apparition d'un érythème. Cette dose est égale au produit de l'éclairement énergétique par le temps d'irradiation nécessaire pour provoquer l'apparition de l'érythème. La valeur mesurée varie en fonction de l'absorption dans les tissus et de la profondeur de pénétration dans ces mêmes tissus. C'est à 270 nm que la peau se révèle la plus sensible aux rayonnements UV. C'est pour cela que l'on mesure la dose minimale qui provoque l'apparition des effets délétères à cette longueur d'onde. Par convention, à son maximum, $S(\lambda = 270 \text{ nm})$ est égal à 1. La courbe $S(\lambda)$ est ensuite calculée par le ratio de la dose énergétique de référence à 270 nm, par rapport aux doses mesurées aux autres longueurs d'onde. De cette manière, pour chaque longueur d'onde, les doses dites « efficaces » (égales au produit de la dose énergétique par la valeur $S(\lambda)$ correspondante) sont comparables (*i.e.* les effets sanitaires sont induits par une même valeur de dose efficace). En pratique, les lampes dites « germicides » constituées de tubes de quartz contenant des vapeurs de mercure émettent principalement à 254 nm plutôt qu'à 270 nm. À 254 nm, la valeur de la courbe $S(\lambda)$ est réduite de moitié : $S(\lambda = 254 \text{ nm})$ est égal à 0,5. Avant d'aboutir à la même dose efficace, *i.e.* au même effet, il est possible de doubler l'éclairement énergétique ou la durée d'exposition. Enfin, chacune des doses efficaces contribue de manière équivalente à l'effet global : la dose efficace résultant d'une exposition cumulée est égale à la somme des doses efficaces élémentaires.

L'intensité de l'exposition est liée à l'éclairement énergétique $E(\lambda)$. Celui-ci varie en fonction de la distance entre la source et la surface exposée, son environnement (effets de masquage ou de réflexion). En outre pour un éclairement

↑ FIGURE 2
Courbe de pondération $S(\lambda)$ associée aux effets sanitaires des rayonnements UV sur l'œil et la peau. Les sensibilités de l'œil (cornée et conjonctive) et de la peau (épiderme et derme) sont considérées comme identiques pour une dose d'UV donnée.



TABEAU 1 →
VLE réglementaire relative à l'exposition aux rayonnements optiques, couvrant les UV-C (Code du travail).

DOMAINE SPECTRAL (LONGUEURS D'ONDE)	EFFET DU RAYONNEMENT	GRANDEURS ÉNERGÉTIQUES CALCULÉES	VALEUR LIMITE D'EXPOSITION (VLE)
180-400 nm	Peau : érythème, élastose, cancer de la peau Œil (cornée/conjonctive) : photokératite, conjonctivite	Dose efficace $H_{eff} = t \times \sum_{\lambda=180}^{400} E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	30 J/m ² admissibles quotidiennement

énergétique donné, l'intensité dépend de l'orientation de la surface éclairée. Dans ces conditions, il est nécessaire d'évaluer la dose reçue au niveau de la surface exposée (pour évaluer l'efficacité du procédé de désinfection) ou des zones anatomiques exposées (pour évaluer le niveau de risque). Ainsi, contrairement aux lampes d'éclairage qui sont évaluées dans une configuration normalisée, la norme NF EN 62471 [1] prévoit d'évaluer les risques photobiologiques liés à l'utilisation des dispositifs utilisés pour la désinfection dans les conditions réelles d'utilisation². La valeur d'éclairement énergétique $E(\lambda)$ obtenue est utilisée pour déterminer le groupe de risque (GR), numéroté de GR0 (sans danger) à GR3 (risque élevé). Obligatoire à la vente, le marquage CE impose, entre autres, d'évaluer le risque photobiologique des dispositifs émetteurs de rayonnements optiques et l'affichage du classement pour les groupes GR2 (risque modéré) et GR3 (risque élevé). Dans le cadre d'activités professionnelles, le Code du travail [2] exige l'analyse des risques dans

les conditions d'utilisation et la mise en place de mesures de prévention, si nécessaire : protection collective (capotage ou arrêt des lampes quand le personnel est à proximité), protection individuelle (protection oculaire, protection de la peau), information et formation du personnel amené à utiliser ces outils [3]. Concernant le rayonnement UV-C, il impose le respect d'une valeur limite d'exposition (VLE) (Cf. Tableau 1) définie dans la directive européenne « Rayonnements optiques artificiels » [4], elle-même construite à partir de la valeur proposée par l'ICNIRP³ sur la base de différentes études sanitaires [5].

Cette VLE englobe les risques liés à l'exposition de l'œil et de la peau aux rayonnements UV-C. Elle requiert l'évaluation (par le calcul ou la mesure) de la dose efficace reçue, aussi appelée exposition énergétique efficace (H_{eff}) [6]. Cette valeur se calcule en sommant, pour les longueurs d'onde entre 180 et 400 nm, le produit de l'éclairement énergétique efficace (E_{eff}) par la durée de l'exposition cumulée au cours de la journée de travail (t , exprimée en secondes). L'éclairement énergétique efficace (E_{eff}) est le résultat de la pondération de l'éclairement énergétique $E(\lambda)$ par la courbe $S(\lambda)$. Il permet de comparer les sources entre elles par le risque relatif qu'elles présentent. Il intègre à la fois la répartition en longueur d'onde de la source (les longueurs d'onde émises et la sensibilité de l'œil et de la peau) et la proportion des rayonnements effectivement reçus par l'œil ou la peau. L'exposition énergétique efficace (H_{eff}) ainsi calculée ne doit pas dépasser 30 joules « efficaces » par mètre carré (J/m²) pour une journée de travail de huit heures.

ENCADRÉ 1
EXEMPLE DE SITUATION D'EXPOSITION

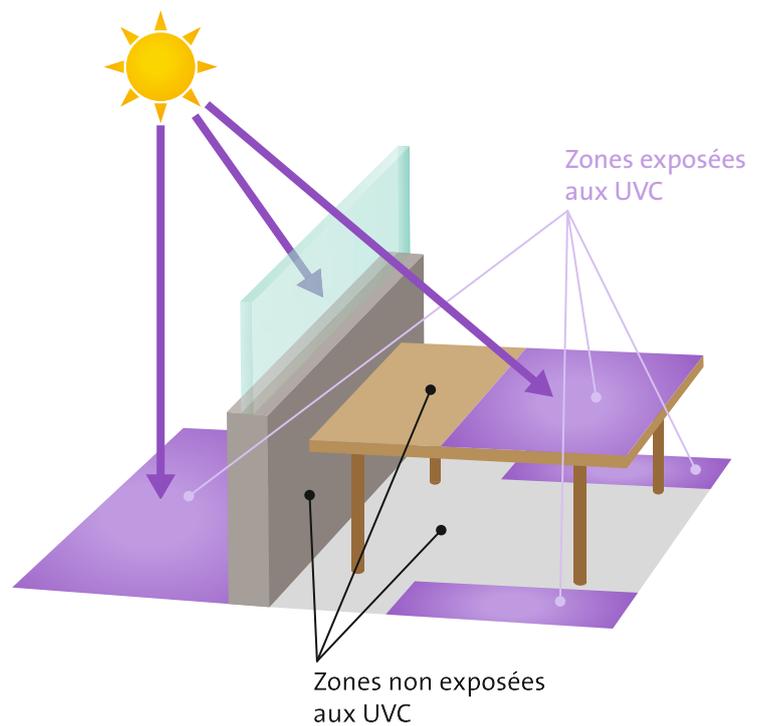
Dans le cadre d'une procédure de désinfection durant laquelle l'œil ou la peau du salarié seraient exposés à un éclairement énergétique de 15 W/m² à 254 nm, l'éclairement énergétique efficace serait égal à 7,5 W/m². Dans ces conditions, la durée d'exposition cumulée maximale autorisée au cours d'une journée est égale à 4 secondes, puisque la valeur de l'exposition énergétique efficace atteint alors la VLE de 30 J/m². Cette durée étant extrêmement courte, le risque de surexposition est permanent. Aussi est-il nécessaire d'éviter toute exposition. Ces appareils ne doivent pas être utilisés pour désinfecter l'œil ou la peau, et toutes les mesures de prévention nécessaires doivent être prises pour empêcher les expositions accidentelles.

Désinfection de pathogènes (comme le Sars-Cov-2) par UV-C et prévention

En désinfection, les niveaux d'émission mis en jeu dépendent de la sensibilité des organismes pathogènes visés et de l'efficacité recherchée. Dans le cas de la Covid-19, les premières études déjà réalisées [7] montrent que la dose nécessaire à l'élimination du SARS-CoV-2 est de l'ordre de grandeur de la VLE vis-à-vis de l'exposition énergétique efficace H_{eff} (les valeurs mesurées varient selon les études entre une dizaine et quelques dizaines de J/m²). Dans la

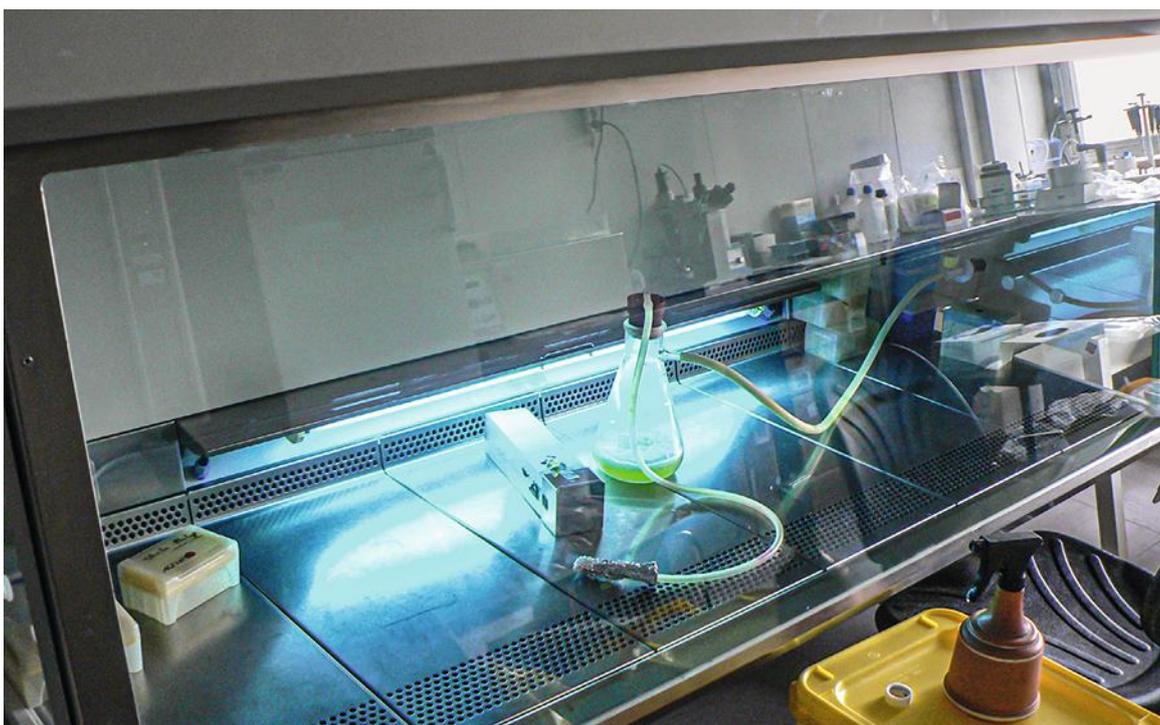
zone de désinfection, l'utilisation de systèmes efficaces induit donc nécessairement une exposition proche de la VLE dans le temps d'un unique cycle de désinfection, souvent quelques secondes. Cette estimation *a priori* est confirmée par les valeurs d'exposition énergétique mesurées par les fabricants pour leurs systèmes disponibles sur le marché. Dans les conditions normales d'utilisation, la VLE pour les yeux et la peau est atteinte pour des durées d'exposition de l'ordre de la seconde à la minute (Cf. Encadré 1). Avec des temps aussi courts, le risque de surexposition est permanent. Aussi est-il nécessaire d'exclure toute exposition humaine, qu'elle soit prévisible ou accidentelle, lors de la désinfection de pièces ou de matériel.

Cette recommandation est d'autant plus importante qu'aucune sensation ne permet de prendre conscience de l'exposition en cours, ou du risque encouru. La couleur bleue ou violette de certaines lampes UV-C résulte de l'observation par l'œil d'une émission secondaire dans le visible. Elle permet d'avoir une indication de l'état de marche de la lampe, mais elle ne renseigne pas sur l'intensité du rayonnement UV-C émis, qui suit le même chemin optique, mais qui est invisible et indolore. Aucune sensation n'est directement liée à l'intensité de l'exposition en cours. L'apparition des premiers symptômes ne se fait qu'avec un décalage de plusieurs heures. Il est donc important d'être extrêmement vigilant quant à l'utilisation de matériels de désinfection utilisant les UV, tout particulièrement lorsque des longueurs d'onde UV-C sont émises. L'effet germicide des UV-C est un atout pour lutter



contre la propagation des virus et autres agents biologiques pathogènes (pour peu que les procédés soient conformes à la norme NF T 72-281 [8]), mais les risques pour l'homme imposent d'exclure les applications de désinfection par les UV-C des mains ou de toute autre zone du corps humain, un constat conforme aux recommandations de l'OMS et de la Commission internationale de l'éclairage (CIE)⁴.

↑ **FIGURE 3**
Représentation des zones de masquage observées lors d'opération de désinfection par UV-C.



Banc à flux laminaire, équipé de rayons UV pour sa décontamination lorsqu'il n'est pas utilisé.



ENCADRÉ 2

RISQUES COMPLÉMENTAIRES LIÉS À L'UTILISATION DE LA DÉSINFECTION PAR UV-C

- Certains médicaments (antibiotiques, diurétiques...) et produits chimiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques, pesticides...) peuvent accroître la sensibilité aux rayonnements optiques, favorisant ainsi l'apparition des effets sanitaires délétères.
- Les rayonnements UV peuvent également réagir avec certains produits de désinfection, comme les produits chlorés, pour former des produits secondaires susceptibles d'être nocifs pour la santé. De plus, aux longueurs d'onde inférieures à 240 nm, le rayonnement interagit avec l'oxygène de l'air. Il se forme alors de l'ozone, un gaz irritant, nocif pour les poumons.

De plus, l'emploi de cette technique pour la désinfection de matériels nécessite que toutes les surfaces soient exposées aux rayonnements [9]. Cela nécessite le nettoyage préalable des salissures et des poussières pour limiter la présence d'éléments faisant obstruction à l'exposition directe des surfaces. Enfin, il existe des effets de masquage : les rayonnements n'atteignent pas toutes les surfaces (Cf. Figure 3). C'est le cas sous un meuble, derrière une paroi ou une poignée de porte. Et, certains matériaux transparents dans le visible, tels que le verre ou le polycarbonate (largement déployés pour protéger les salariés des commerces du coronavirus Sars-CoV-2), ne sont pas transparents aux UV-C, ce qui empêche la désinfection derrière ces écrans. Ces préconisations sont généralement connues des acteurs du domaine de la désinfection aux UV-C. Cependant, dans l'urgence de la crise sanitaire, certaines des solutions proposées (dispositifs portatifs ou destinés à la désinfection de la peau) ne respectent pas ces principes de précaution. En effet, les solutions dont les niveaux d'émission permettent d'être efficace à des temps courts (inférieurs à 1000 s) s'appuient principalement sur l'émission de rayonnements UV-C par des sources lumineuses classées en groupe GR3, d'après la norme NF EN 62471 [1]. Elles ne doivent pas être utilisées sans protection si l'exposition énergétique efficace (H_{eff}) au cours

de la journée atteint la VLE, ce qui interdit de fait leur usage pour la désinfection de la peau.

Même lorsque la dose unitaire reçue pour un cycle de désinfection est inférieure à la VLE, la répétition au cours de la journée expose les salariés à des doses très supérieures à la VLE. Ce constat impose la mise en œuvre de mesures de protection.

Les recommandations diffèrent alors en fonction des applications visées. Lorsque c'est possible, il faut privilégier les mesures d'organisation du travail ou de prévention collective qui protègent l'ensemble du personnel. L'information des salariés et la matérialisation des zones en cours de désinfection sont importantes pour avertir de la nature des risques encourus. La méthode la plus efficace consiste à contenir les rayonnements UV dans un espace « étanche » aux rayonnements optiques (une armoire, une pièce inoccupée, ou *via* un capotage avec coupure en cas d'ouverture...). S'agissant de sources classées dans les groupes de risque GR2 ou GR3, l'affichage du groupe de risque ainsi que des précautions d'usage est rendu obligatoire par la réglementation.

Lorsque les protections collectives ne sont pas envisageables, il est nécessaire de porter des équipements de protection individuelle (EPI) efficaces pour les yeux et la peau dans l'environnement des sources utilisées. Les lunettes seules ne protègent ni le visage, ni la peau des mains, qui restent exposés. Les EPI doivent être adaptés à l'ensemble des risques présents (UV, visibles ou autres) [10] et protéger d'éventuelles réflexions des UV lorsque la source se trouve dans le dos de l'opérateur par exemple. Les vêtements doivent être opaques aux UV (mailles serrées, niveau de transmission très faible). Pour le visage et les yeux en particulier, le polycarbonate, même transparent, assure à la fois une bonne visibilité pour la poursuite de l'activité et une protection efficace contre les UV. Les protections choisies doivent être certifiées selon la norme NF EN 170 [11].

Solutions émergentes

Certaines solutions sont proposées avec des longueurs d'onde ou des technologies décrites comme « nouvelles » (Led UV-C à 222 nm par exemple), avec parfois pour argument commercial d'être moins dangereuses, du fait d'une supposée faible profondeur de pénétration.

En premier lieu, que le rayonnement UV soit émis par le soleil, des lampes « classiques » ou par des Led, il est important de rappeler que la source d'émission ne modifie pas la dangerosité : seule la longueur d'onde et l'éclairement énergétique comptent. Un changement de technologie, par exemple remplacer une lampe à vapeur de mercure par une Led, ne permet pas de prétendre que le niveau de dangerosité diminue. Et bien qu'à 222 nm, la sensibilité

POUR EN SAVOIR +

• Décryptage : DAVID C. – La désinfection des lieux de travail : quelle stratégie ? *Hygiène & sécurité du travail*, 2021, 263, DC 30, pp. 7-13. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/hst/decryptage.html>

de l'œil et de la peau soit moindre qu'à 254 nm [$S(222 \text{ nm}) = 0,13$], le risque demeure. Par exemple, pour un éclairage énergétique de 15 W/m², la VLE est atteinte en 15 secondes.

De plus, on définit la profondeur de pénétration comme l'épaisseur de matière pour laquelle l'intensité du rayonnement a été diminuée d'un facteur choisi arbitrairement selon les études. Elle varie principalement en fonction de l'absorption des matériaux. Au-delà de cette épaisseur, l'intégralité du rayonnement n'est pas absorbée, elle est seulement réduite. Les tissus en surface seront les plus sévèrement exposés. Plus en profondeur, ils subiront une exposition moindre mais pas forcément négligeable. Avant de conclure sur ce point, rappelons que la courbe $S(\lambda)$ et les VLE définies sur la base de travaux expérimentaux intègrent l'ensemble de ces paramètres.

En conséquence, tous les dispositifs doivent être évalués selon les obligations réglementaires en cours [1, 2, 4, 8], avant d'être mis à disposition des entreprises pour éviter toute altération de la santé des salariés potentiellement exposés.

Conclusion

La désinfection par rayonnements UV est une technique mature, communément utilisée dans divers domaines professionnels. Son utilisation s'est développée récemment en raison notamment de son potentiel dans le cadre de la lutte sanitaire contre la pandémie de Covid-19. Il convient alors de choisir un procédé répondant aux essais de la norme NF T 72-281 [8] pour s'assurer de son efficacité désinfectante. Certaines des applications proposées, dont les fournisseurs revendiquent la possibilité d'être automatisées ou de remplacer l'usage de produits chimiques, sont des outils de désinfection efficaces lorsque les surfaces sont suffisamment et correctement exposées à ces rayonnements. Cependant, les UV-C présentent des risques pour l'homme qui doivent être pris en compte pour une utilisation en sécurité. En particulier, les niveaux d'émission utilisés pour la désinfection des agents biologiques pathogènes (comme c'est le cas pour le SARS-CoV-2) amènent à dépasser la VLE en quelques secondes seulement. Cela interdit *de facto* l'utilisation de ces techniques pour la désinfection de la peau et des yeux. Pour évaluer précisément les risques, les utilisateurs de ces technologies doivent s'appuyer notamment sur les éléments réglementaires disponibles. En premier lieu, le niveau d'exposition journalier dans les conditions réelles d'utilisation doit être le plus faible possible et toujours rester inférieur à la VLE imposée par le Code du travail. La commercialisation et la mise à disposition de ces équipements doivent se faire conformément à la norme NF EN 62471. Celle-ci prévoit le classement en groupe de risque

dont l'affichage est obligatoire pour les niveaux de risque les plus élevés. Les UV-C étant invisibles et indolores, cet affichage est un outil de prévention important permettant d'avertir les utilisateurs des risques encourus et des mesures de prévention nécessaires. Il doit également être accompagné de l'information et de la formation des personnels amenés à utiliser ces dispositifs, ainsi que de la fourniture des équipements de protection adéquats pour les yeux et la peau. ●

1. Rappel : $E = h \times (c/\lambda)$, avec h = constante de Planck ; et c = vitesse (célérité) de la lumière.

2. La norme NF EN 62471 [1] classe les appareils émettant des rayonnements UV selon leur dangerosité, en conditions réelles d'utilisation. La norme NF T 72-281 [8] permet de tester l'effet désinfectant des dispositifs utilisant des UV.

3. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection : Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants.

4. Voir en particulier : OMS/WHO, infographie – Can an ultraviolet disinfection lamp kill the new coronavirus? CIE, Position Statement on the use of Ultraviolet (UV) radiation to manage the risk of COVID-19 transmission.

BIBLIOGRAPHIE

[1] **NORME NF EN 62471** – Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes. Afnor, 2008. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[2] **CODE DU TRAVAIL** – Articles R. 4455-1 et suivants (Décret n° 2010-750 du 2 juillet 2010 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels). *Journal officiel* du 4 juillet 2010. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr.

[3] **BARLIER-SALSI A.** – Exposition professionnelle aux rayonnements optiques artificiels : Guide d'évaluation des risques sans mesure. INRS, ED 6343, 2019. Accessible sur : www.inrs.fr.

[4] **DIRECTIVE N° 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). *JO de l'Union européenne*, n° 114/38 du 27 avril 2006. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/>.

[5] **ICNIRP** – Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths 180 nm to 400 nm (incoherent optical radiation). *Health Physics*, 2004, 87 (2), pp. 171-186. Accessible sur : <https://doi.org/10.1097/00004032-200408000-00006>.

[6] **BARLIER-SALSI A.** – Mesurer et évaluer l'exposition professionnelle aux rayonnements optiques artificiels (hors laser). *Guide méthodologique*. INRS, 2016, coll. Notes scientifiques et techniques, NS 347. Accessible sur : www.inrs.fr.

[7] **BIASIN M., ET AL.** – UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication. *Sci Rep*, 2021, 11, 6260. Accessible sur : <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85425-w>.

[8] **NORME NF T 72-281** – Procédés de désinfection des surfaces par voie aérienne – Détermination de l'activité bactéricide, fongicide, levuricide, mycobactéricide, tuberculocide sporicide et virucide, incluant les bactériophages. Afnor, 2014. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[9] **CRAMIF** – Désinfection par rayonnement UV. Fiche risques professionnels (mise à jour du 13/10/2020). Accessible sur : <https://www.cramif.fr/>.

[10] **INRS** – Les équipements de protection individuelle des yeux et du visage. *Choix et utilisation*. INRS, 2009, ED 798. Accessible sur : www.inrs.fr.

[11] **NORME NF EN 170** – Protection individuelle de l'œil. *Filtres pour l'ultraviolet. Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée*. Afnor, 2003. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).