



Technologie de désinfection dans les hôpitaux : Effets nocifs des UVC

Disinfection Technology in Hospitals: Harmful effects of UVC

Ines Gharbi¹, Moez Guettari², Amira Chroudi³, Houcine Touati⁴, Samir Hamza³

(1) Université de Tunis El Manar, Faculté des Sciences de Tunis, LR99ES16-Physique de la Matière Molle et de la Modélisation Electromagnétique, 2092, Tunis, Tunisie

(2) Université de Tunis, Institut préparatoire aux Etudes d'Ingénieur de Tunis. Laboratoire Fluides et Matériaux, 1089, Tunis, Tunisie

(3) Laboratoire de Nanobiotechnologie (UR17ES22), Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie, Centre Urbain Nord, 1080, Tunis, Tunisie

(4) Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers, UMR CNRS 7285, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers (ENSI), Université de Poitiers, 1, rue marcel Doré, TSA 41105, 86073, Poitiers cedex 9 (France)

RÉSUMÉ

La technique de désinfection des hôpitaux par rayonnements ultraviolets de courte longueur d'onde (UVC) est une méthode non corrosive du matériel médical. Elle a prouvé son efficacité dans l'inactivation des microorganismes. Cependant la manipulation de ce type de rayonnement sans précaution présente un danger potentiel important pour la santé humaine. Ce danger se manifeste par des effets nocifs immédiats ou à long terme qui vont du simple érythème à d'authentiques cancers cutanés. De ce fait, des valeurs limites d'exposition aux rayonnements UVC ont été précisées et recommandées par la commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants. Ainsi, des mesures de protection avant, pendant et après la manipulation des UVC ont été prises et doivent être également respectées telles qu'elles sont définies dans les normes de sécurité.

Mots Clés : UVC, désinfection, risque, nocifs, Coronavirus

SUMMARY

Ultraviolet C (UVC) disinfection is an effective technique for inactivating bacteria and viruses, while being non-corrosive to medical equipment. It is therefore very useful for hospitals. However, the handling of this type of radiation without precaution presents a potentially significant danger for the human health. This hazard can manifested immediately or after a long period, by harmful effects ranging from simple erythema to authentic skin cancers. Therefore restrictions should be imposed to control and avoid the risks involved in professional uses. For this reason, the limit values for exposure to UVC radiation have been specified and recommended by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

Key words : UVC, disinfection, risks, harmful, Coronavirus

Correspondance

Samir Hamza

Laboratoire de Nanobiotechnologie (UR17ES22), Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie, Centre Urbain Nord, 1080, Tunis, Tunisie
samir.hamza@insat.rnu.tn

INTRODUCTION

La pandémie de la Covid-19 est apparue fin 2019 en Chine et s'est propagée vers plus de 190 pays à travers le monde. On dénombre environ 247 milles morts jusqu'à la date du 4 Mai 2020 (1). L'agent pathogène de cette maladie est le SARS-CoV-2 (2-4). Le virus se transmet principalement de façon interhumaine, par voie aérienne lors de projection des gouttelettes, avec contamination des muqueuses du visage de façon directe ou indirecte par les mains contaminées (5). Ces dernières peuvent être contaminées en touchant simplement une surface ou un objet où le virus est déjà présent. Pour contenir la pandémie, plusieurs formes d'actions ont été prises en compte : (a) Mise en quarantaine des personnes suspectes (b) Distanciation sociale (c) Tests massifs (d) Désinfection et (e) Prise des mesures d'hygiène. Dans les hôpitaux l'hygiène est primordiale, elle consiste à désinfecter les instruments, les surfaces et l'air ambiant. Les méthodes de désinfection utilisent des agents chimiques, biologiques ou physiques (6-7).

L'utilisation des rayonnements ultraviolets de courte longueur d'onde (UVC), est fortement recommandée dans la désinfection des hôpitaux (8-9). En effet, les lampes UVC basse pression émettant un rayonnement à 254 nm, appelées aussi lampes germicides, sont utilisées pour désactiver les microorganismes comme les virus et les bactéries et en particulier le virus SARS-CoV (10-11). Le processus d'inactivation se manifeste par des réactions photochimiques qui altèrent l'ADN et l'ARN des microorganismes qui, à leurs tours, perdent leurs capacités à se reproduire. Néanmoins, l'utilisation des UVC s'accompagne souvent par des effets nocifs que nous exposerons en détail dans ce travail et qui nécessitent des mesures de protection (12).

Dans la première partie de ce travail, une attention particulière sera portée aux propriétés physiques des rayonnements ultraviolets (UV). Ensuite, nous étudierons les effets biologiques des UVC sur les protéines et les acides aminés ainsi que sur l'organisme humain. Les valeurs limites d'exposition aux UVC seront précisées selon la réglementation européenne suivie par les mesures de sécurité indispensables pour le personnel chargé de la désinfection.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES UVC

Le rayonnement UV, appelé aussi la lumière noire parce qu'elle n'est pas perceptible par l'œil humain, est un rayonnement électromagnétique considéré comme non ionisant de longueur d'onde λ se situant entre les rayons X et la lumière visible : $100 \text{ nm} \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}$. Le spectre électromagnétique (Figure 1) peut être subdivisé en quatre catégories, selon leurs longueurs d'ondes : UVV (100-200 nm), UVC (200-280 nm), UVB (280-320 nm) et UVA (320-400 nm) (13-14). Généralement les UV sont émis par la lumière du soleil et représentent environ 5 % des rayonnements que nous recevons sur Terre.

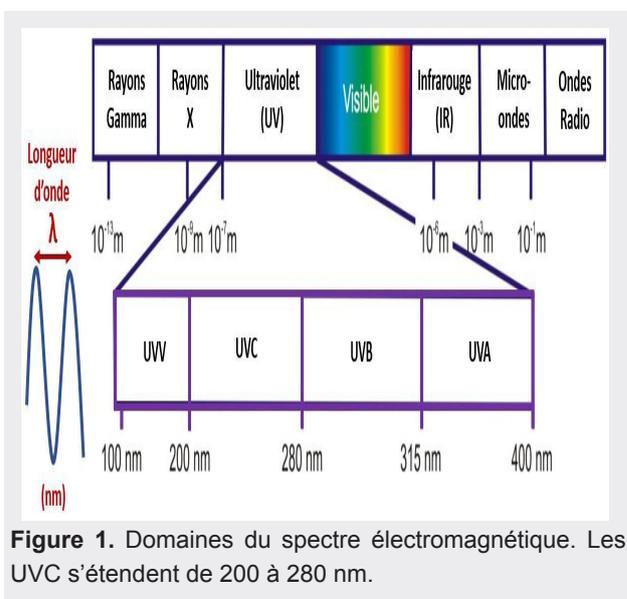


Figure 1. Domaines du spectre électromagnétique. Les UVC s'étendent de 200 à 280 nm.

La lumière UV atteignant la surface de la terre est constituée de 95% d'UVA et de 5% d'UVB. Ces deux types d'UV sont les responsables du phénomène de bronzage chez l'homme. En effet, les UVA pénètrent le derme de façon lente mais profonde et leurs effets ne sont pas instantanés mais cumulatifs. Les UVB pénètrent seulement l'épiderme mais sont plus dommageables que les UVA. En terme plus général, les UVB peuvent introduire de sérieux dommages sur toutes les molécules biologiques et principalement l'ADN. Contrairement aux UVA et UVB, les rayonnements UVC sont entièrement filtrés par la couche d'ozone. Les photons hautement énergétiques des UVC leur confèrent un fort pouvoir germicide présentant de sérieux dommages généralement irréversibles sur les organismes vivants (15).

En outre, contrairement aux méthodes de désinfection par les produits chimiques, les UVC inactivent rapidement et efficacement les microorganismes par un processus qui repose sur les grandeurs physiques suivantes :

- L'éclairement énergétique ou l'irradiance ou la fréquence de dose, exprimé en $W.m^{-2}$, qui quantifie la puissance du flux de rayonnement reçu par unité de surface. Dans le cas de l'exposition d'une personne aux rayonnements direct ou réfléchi par les éléments environnants, la surface réceptrice est la peau ou les yeux (cornée, cristallin).
- L'exposition énergétique ou la dose d'UV, exprimée en $J.m^{-2}$, qui est le paramètre principal de dimensionnement lors d'une irradiation UV. Ce paramètre est le produit de l'intensité émise par une ou plusieurs sources UV par la durée d'exposition : Dose ($J.m^{-2}$) = Intensité ($W.m^{-2}$) x seconde.

Généralement, l'efficacité de la désinfection dépend en grande partie de la dose d'irradiation, car la quantité de dommages cellulaires causés par l'irradiation est proportionnelle à la quantité d'énergie absorbée. Néanmoins, d'autres facteurs y interviennent, tels que la distance séparant la source UVC de la surface contaminée, la nature et la concentration des microorganismes et surtout la température et l'humidité du milieu (16).

EFFETS BIOLOGIQUES DES UVC

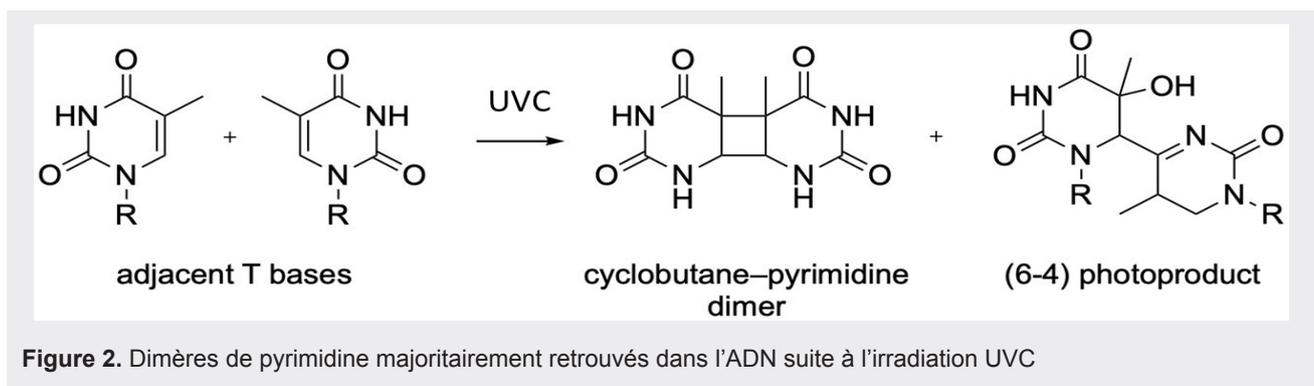
Sur les protéines et les acides nucléiques

La particularité de la bande des UVC est de présenter un effet germicide puissant. Ce dernier est lié au fait que les rayonnements sont absorbés par l'ADN et l'ARN, molécules qui supportent les fonctions répliquatives et métaboliques. Les rayons UVC induisent différents types

de dommages en agissant directement sur les acides nucléiques et les protéines (17). Cela est dû au fait que ces deux types de molécules absorbent un maximum de longueurs d'onde qui correspondent aux UVC, comme par exemple une absorption à 260 nm pour l'ADN et à 280 nm pour les protéines. Par ailleurs, les UVC peuvent être utilisés pour couper les ponts disulfures en plus de provoquer l'agrégation des protéines (18). Ils peuvent également provoquer l'excitation des bases pyrimidines de l'ADN (thymine et cytosine) et de l'ARN (uracile et cytosine) (19). Cela peut entraîner par effet photochimique des réactions de dimérisation entre bases adjacentes : soit entre deux thymines, soit entre deux cytosines, soit entre une thymine et une cytosine. Les deux types de dimères de pyrimidine les plus courants sont les dimères cyclobutaniques de pyrimidines (CPD) et les pyrimidines (6-4) pyrimidone (6-4 PP) (Figure 2).

Lors de la formation des lésions CPD et 6-4PP, une distorsion du brin d'ADN induit un léger repliement de 7-9° ou un coude de 44° (20), ce qui fait perturber l'activité normale des enzymes impliquées dans la duplication du génome et dans la synthèse protéique. Ces lésions vont affecter les fonctions vitales de la cellule, ce qui induit une introduction des mutations dans le génome ou la mort cellulaire, si les dommages sont trop importants (21). Les microorganismes ne présentent pas tous la même sensibilité à l'irradiation. L'ADN et l'ARN sont les principales cibles de radiation et plus l'organisme est complexe, plus il sera sensible. De même, plus l'organisme ciblé est petit, plus il sera résistant, ce qui explique pourquoi les virus sont plus difficiles à éliminer par irradiation UV que les insectes et les parasites.

Selon la dose de radiation absorbée, les lésions de l'ADN générées par les rayonnements UV peuvent être



prises en charge par un processus de photoréactivation ou de réparation dans l'obscurité. Tout d'abord, l'ADN photolyase est considéré comme une enzyme très importante pour la réparation des lésions de type dimère de pyrimidine. L'enzyme, capable de reconnaître spécifiquement les CPD (CPD photolyase) et les 6-4PP (6-4PP photolyase), répare les dommages en utilisant l'énergie de la lumière par une réaction appelée photoréactivation. Par contre, le phénomène de réparation dans l'obscurité est considéré comme un mécanisme indépendant de la lumière. La réactivation dans la lumière ou la réactivation dans l'obscurité est favorisée à haute température (30°C) (22). Le phénomène de photoréparation est toujours de loin supérieur à celui de la réparation dans l'obscurité et peut être initié en moins de 30 minutes. Le phénomène de photoréparation peut être amorcé en 40 minutes, 2 h, 5 h et même après 24 h de la fin de l'irradiation, respectivement comme pour les bactéries *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Mycobacterium smegmatis* et *Mycobacterium tuberculosis* (23). Cependant, des études ont montré qu'il y a peu ou pas de possibilité de photoréactivation lorsque les doses dépassent 12 mJ/cm². Néanmoins, il a été démontré que certains microorganismes tels que le *Cryptosporidium* ne présentent aucun signe de réparation dans des conditions claires ou sombres après une irradiation par une lampe UV à basse ou à moyenne pression pour des doses aussi faibles que 3 mJ/cm². Par conséquent, pour assurer la désinfection, il faut concevoir des systèmes de génération d'UV délivrant des doses qui garantissent une dégradation cellulaire qui ne peut être réparée.

Sur l'organisme humain

Les technologies automatisées pour la décontamination des établissements sanitaires utilisent des sources de rayonnement UV artificielles de différentes longueurs d'onde et de différentes intensités. Ces rayonnements sont souvent plus élevés que le rayonnement solaire et tendent vers les courtes longueurs d'onde de la lumière UVC, naturellement filtrée par la couche d'ozone. Les UVC sont destructeurs pour toutes les formes de vie, ce qui les rendent intrinsèquement dangereux lorsqu'ils sont produits artificiellement, conduisant à des effets multiples d'ordre thermique ou photochimique sur le corps humain. Les interactions UV/cellules sont des phénomènes complexes qui se traduisent par des réactions immédiates ou retardées.

Parmi les effets des expositions répétées (effets chroniques), on note l'érythème actinique couramment appelé « coup de soleil » et le photovieillement (24). Chez l'homme, les lésions structurelles de la peau dues à l'exposition au rayonnement UVC provoquent à court terme des brûlures, une fragilité ainsi que des cicatrices et à long terme un vieillissement prématuré. Ce dernier se traduit par l'apparition des rides et de la perte d'élasticité cutanée. Ainsi, les UVC jouent un rôle important dans la genèse des cancers cutanés, ils provoquent une altération des cellules de l'épiderme, dont la répétition peut entraîner le développement de cancers de la peau. Ils sont capables de modifier la structure de l'ADN des cellules (25), et de produire des mutations qui conduisent finalement à la transformation cancéreuse de la cellule, avec une susceptibilité génétique importante. Il existe deux types de cancers de la peau favorisés par l'exposition aux UVC : le carcinome et le mélanome.

Comme pour la peau, les rayonnements UV peuvent également affecter les yeux (26). Leurs effets sont aigus ou chroniques et sont liés à la longueur d'onde, à l'intensité du rayonnement et à la durée d'exposition. Les yeux sont particulièrement sensibles aux rayons UVC. En pénétrant dans les yeux, les UVC induisent une opacification du cristallin (cataracte). Les effets aigus du rayonnement UV peuvent favoriser l'inflammation de la cornée (photokératite) et de l'iris (photoconjonctivite). Leurs effets à long terme résultent l'apparition d'un ptérygion (excroissance opaque, blanche ou laiteuse fixée à la cornée) et d'un carcinome épidermoïde de la conjonctive, entraînant une déficience visuelle (26-27).

Par ailleurs, des études ont montré que les UVC induisent une immunosuppression au niveau systémique de la peau, qui est responsable d'une diminution des réactions d'hypersensibilité de contact (28). Cette dépression immunitaire s'installe dans les heures qui suivent l'irradiation et sa restauration nécessite trois semaines environ. Cependant, la réduction des risques d'exposition aux rayonnements UVC est facile à mettre en œuvre, à la fois par des mesures de prévention primaire, techniques et/ou organisationnelles, qui visent à contrôler les longueurs d'onde des rayonnements, leurs intensités, le temps d'irradiation et la distance d'exposition, et par des mesures de protection individuelle de la peau et des yeux.

VALEURS LIMITES D'EXPOSITION ET MESURES DE SÉCURITÉ

La norme ISO 15858:2016 (29) précise les valeurs limites d'exposition aux UVC ainsi que les mesures de sécurité qu'il faut entreprendre par les manipulateurs.

Valeurs limites d'exposition

Une exposition au rayonnement UV peut être quantifiée, en termes d'éclairement énergétique E exprimé en $W.m^{-2}$ pour une exposition continue à un niveau constant ou, en termes d'exposition énergétique H exprimée en $J.m^{-2}$ pour une exposition limitée dans le temps ou pulsée. L'expression de H s'écrit :

$$H = \text{durée d'exposition} \cdot E \cdot dt \quad (1)$$

Les sources de rayonnement optiques dans la plupart des cas, émettent dans une large bande spectrale. Afin de déterminer l'éclairement énergétique efficace E_{eff} normalisé, il devient alors nécessaire de réaliser un calcul en tenant compte des coefficients de normalisation $S(\lambda)$ exprimant la pondération spectrale relative par rapport au maximum de pondération situé à 270 nm (voir tableau 1).

$$E_{eff} = \sum E_{\lambda} S(\lambda) \Delta\lambda \quad (2)$$

Où λ (nm), $\Delta\lambda$ (nm) et $S(\lambda)$ (sans unité) sont respectivement la longueur d'onde, la largeur de la bande et la pondération spectrale qui tient compte du rapport entre λ et les effets du rayonnement UV sur les yeux et la peau.

E_{λ} ($W.m^{-2}.nm^{-1}$) et E_{eff} ($W.m^{-2}$) sont respectivement l'éclairement énergétique spectral et l'éclairement énergétique efficace normalisé. E_{eff} est calculé sur le domaine spectral entre 180 et 400 nm et pondéré en fonction de la longueur d'onde par $S(\lambda)$.

Selon le guide de l'ICNIRP sur les valeurs limites d'exposition des yeux et de la peau des personnes aux rayonnements sur tout le spectre UV (180-400nm), la dose limite d'exposition pendant une journée de travail est de $30 J.m^{-2}$. Dans ces conditions et si l'éclairement énergétique est constant, la durée maximale d'exposition journalière t_{max} (s) se calcule par :

$$t_{max} = 30 / E_{eff} \quad (3)$$

N.B : Les limites d'expositions ont été assurées par la commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants, «International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection» (ICNIRP) (29-30).

Dans le cas d'une exposition à une source monochromatique, les valeurs limites d'exposition sont disponibles dans le tableau 1. La durée maximale d'exposition peut également être déterminée à partir du tableau 2. En revanche, si plusieurs lampes (N) sont à la fois en service, il est alors possible d'évaluer la durée maximale d'exposition en faisant l'approximation suivante : Durée d'exposition pour N lampes = Durée maximale pour 1 lampe / N.

D'un autre côté, les risques de l'exposition directe aux rayonnements UV peuvent être évalués à l'aide des outils de simulation numérique tels que le logiciel CatRayon 5 (31), développé par l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) (32). Il est téléchargeable librement à partir du site web de l'INRS.

Tableau 1. Limites d'exposition aux UV et fonction de pondération spectrale (29) E_L est la limite d'exposition pour une source monochromatique, mais également limitée par un débit de dose de $10 kW.m^{-2}$ pour des durées supérieures à une seconde afin d'éviter les effets thermiques.

λ (nm)	E_L ($J m^{-2}$)	$S(\lambda)$	λ (nm)	E_L ($J m^{-2}$)	$S(\lambda)$
200	1000	0,030	315	$1,0 \times 10^4$	0,003
205	590	0,051	316	$1,3 \times 10^4$	0,0024
210	400	0,075	317	$1,5 \times 10^4$	0,0020
215	320	0,095	318	$1,9 \times 10^4$	0,0016
220	250	0,120	319	$2,5 \times 10^4$	0,0012
225	200	0,150	320	$2,9 \times 10^4$	0,0010
230	160	0,190	322	$4,5 \times 10^4$	0,00067
235	130	0,240	323	$5,6 \times 10^4$	0,00054
240	100	0,300	325	$6,0 \times 10^4$	0,00050
245	83	0,360	328	$6,8 \times 10^4$	0,00044
250	70	0,430	330	$7,3 \times 10^4$	0,00041
254	60	0,500	333	$8,1 \times 10^4$	0,00037
255	58	0,520	335	$8,8 \times 10^4$	0,00034
260	46	0,650	340	$1,1 \times 10^5$	0,00028
265	37	0,810	345	$1,3 \times 10^5$	0,00024
270	30	1,000	350	$1,5 \times 10^5$	0,00020
275	31	0,960	355	$1,9 \times 10^5$	0,00016
280	34	0,880	360	$2,3 \times 10^5$	0,00013

Tableau 2. Durées limites d'exposition aux UV basées sur les limites d'exposition (29)

Durée d'exposition par jour	E_{eff} ($W m^{-2}$)
8 h	0,001
4 h	0,002
2 h	0,004
1 h	0,008
30 min	0,017
15 min	0,033
10 min	0,05
5 min	0,1
1 min	0,5
30 s	1,0
10 s	3,0
1 s	30
0.5 s	60
0.1 s	300

Mesures de sécurité

Les mesures de sécurité doivent être prises avant, pendant et après l'utilisation des UVC.

Avant l'utilisation : Le nettoyage et la décontamination de l'appareil selon le protocole fourni par le constructeur sont obligatoires. Si le nettoyage a été effectué avec des produits à base d'alcool, il faut laisser l'appareil sécher complètement avant son utilisation. Un compteur des nombres d'heures de fonctionnement des lampes doit être vérifié pour s'assurer de l'efficacité de l'utilisation des lampes et pour les changer si nécessaire. L'appareil doit être aussi conservé pendant 2 à 3 heures avant de le brancher sur le circuit électrique après transport ou stockage.

Des intervenants, équipés par des combinaisons de protection contre la contamination bactérienne et virale, selon la norme EN 14126 (30), doivent préparer la zone à désinfecter et assurer une sécurité multi-échelle : (1) électrique (vérification de l'accessibilité des interrupteurs pendant l'utilisation, branchement sur une prise reliée à terre) (2) chimique/ biologique (élimination de tous produits chimiques et biologiques afin d'éviter une possible réaction chimique amorcée par les UV).

Pendant l'utilisation : La protection doit être conforme à la norme EN170 (31). Le manipulateur doit être équipé de lunettes de protection (type UVLAB ou UVMOUSSE)

pendant des utilisations prolongées. Le port des visières intégrales en polycarbonate, des vêtements longs et couvrants, mais non fluorescents en plus des gants opaques aux UV est obligatoire au cas d'une exposition directe aux rayonnements. Le contrôle des doses d'UVC est vérifié par l'usage des dosimètres électroniques ou par un témoin couleur. La durée de désinfection doit être estimée préalablement. L'accès aux lieux est strictement interdit à toute personne non équipée d'un matériel de protection contre les UVC lors de la désinfection. En cas de remplacement d'une lampe pendant l'utilisation de l'appareil, il est obligatoire de la laisser refroidir avec précaution (pour éviter le risque d'explosion) avant d'insérer une nouvelle lampe.

Après l'utilisation : Un intervalle de temps est nécessaire après l'arrêt de l'appareil d'une part, pour achever la décontamination des lieux des microorganismes et d'autre part, pour éviter les risques liés à la formation de l'ozone. A température ambiante, ce dernier est un gaz instable dont la durée de vie dépend de la température de l'enceinte. IL peut se former lors d'un rayonnement UV à des longueurs d'onde inférieures à 240 nm. En effet, pour former l'ozone constitué par des molécules de trois atomes d'oxygène (O_3), il faut des atomes d'oxygène (O_2) libres. C'est lors d'un rayonnement UV à 240 nm que les molécules d'oxygène peuvent se dissocier de l'atmosphère. En respectant une durée précise de décontamination, les traces d'ozone disparaissent naturellement de l'espace suite à une décomposition en O_2 . La rapidité de la réaction dépend essentiellement de la température.

UVR Robots désinfectants

Des dispositifs embarqués autonomes et portatifs adaptés sont mis au point pour désinfecter les espaces et les objets (le service des urgences, les blocs opératoires, les banques, les avions, l'air...) et pour réduire les risques de contaminations des personnes qui en font usage. Le dispositif que nous présentons est un robot (UVR-Robot) de désinfection comprenant un ensemble de lampes UVC modulables et amovibles, d'une base mobile et d'un système embarqué. Cet ensemble permet d'émettre des radiations UVC ciblées, correspondant à la dose de désinfection prédite sur les surfaces à désinfecter (Figure 3). Huit lampes émettent une lumière ultraviolette concentrée du type UVC. En fonction de l'espace à



Figure 3 : UVR-Robot, opère dans un bloc opératoire

désinfecter, la durée d'émission varie de 10 à 15 min. Notre dispositif utilise la lumière UVC et UVC-lointain (207–222 nm) concentrée et émise par des robots lorsqu'ils se déplacent dans les espaces à désinfecter. L'alimentation des lampes UVC est assurée par une batterie de courant continu de 24V constituée de plusieurs accumulateurs et d'une autonomie d'environ 10 heures. Cette innovation technologique proposée au meilleur prix aide à combattre efficacement et principalement le virus sans endommager le matériel dans les espaces à désinfecter. Elle présente de multiples avantages, dont en particulier la réduction du temps nécessaire pour une désinfection de 80%, la grande sécurité due au contrôle à distance du robot, ainsi que la facilité de l'utilisation et de l'entretien.

CONCLUSION

Les UVC sont de bons candidats pour la désinfection des hôpitaux et en particulier les UVC germicides qui émettent autour de la longueur d'onde de 254 nm. Ils permettent de désactiver les microorganismes et en particulier le SARS-CoV en agissant sur leurs ADN ou bien sur leurs

ARN. Cependant, l'utilisation de ce type de rayonnement artificiel est nocive pour la santé et peut entraîner des effets immédiats sur la peau « coup de soleil », des lésions précancéreuses ou bien d'authentiques cancers cutanés à la longue. Au niveau des yeux, la cornée et la conjonctive absorbent les UVC ce qui provoque leur inflammation qui se traduit par une sensation de brûlure connue sous le nom de « coup d'arc ». L'exposition à l'ozone donne lieu à des inflammations des poumons et des voies respiratoires. Le risque d'éclatement des lampes à mercure et l'inhalation de ce gaz provoque une atteinte pulmonaire hémorragique et une encéphalopathie mortelle. En vue d'éviter les effets nocifs sur le corps humain, les manipulateurs doivent procéder à des mesures de sécurité avant, pendant et après la décontamination par UVC. Ces mesures concernent essentiellement le port des vêtements de protection selon la norme EN 14126 pour la protection contre les agents infectieux. Pour se protéger contre les UVC, les manipulateurs doivent se doter des lunettes, gants et visières conforme à la norme EN 170. En plus de toutes ces précautions, des robots ont été conçus par nos soins pour pallier les effets nocifs des UVC.'

RÉFÉRENCES

1. Statista. <https://fr.statista.com/statistiques/1101324/morts-coronavirus-monde/>
2. Tratner I. SRAS : 1. Le virus. *Med Sci (Paris)*, 2003, Vol. 19, N° 8-9; p. 885-891. DOI : 10.1051/medsci/20031989885.
3. <https://www.frm.org/recherches-maladies-infectieuses/virus-emergents/tout-savoir-sur-le-coronavirus-covid-19>
4. Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, Zhao X, Huang B, Shi W, Lu R, Niu P, Zhan F, Ma X, Wang D, Xu W, Wu G, Gao GF, Phil D, Tan W. A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. DOI: 10.1056/NEJMoa2001017.
5. <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/maladie-covid-19-nouveau-coronavirus>
6. http://www.sohf.ch/Themes/Sterilisation/IVSS_5189_8_F.pdf
7. <https://www.publichealthontario.ca/-/media/documents/B/2013/bp-cleaning-disinfection-sterilization-hcs.pdf?la=fr>
8. <https://www.santelog.com/actualites/hopital-une-nouvelle-plateforme-de-desinfection-par-uv-efficace-977>
9. <https://www.es-france.com/blog/346-rayonnement-uv-c-et-coronavirus>
10. <http://www.eries.com/Traitement%20UVC.htm>
11. Darnella M E R, Subbaraob K, Feinstein S M, Taylora D R. Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. *J Virol Methods* 2004;121:85–91. DOI: 10.1016/j.jviromet.2004.06.006.
12. <http://www.inrs.fr/risques/rayonnements-optiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>
13. Yin R, Dai T, Avci P, Jorge AES, CMA de Melo W, Vecchio D, Huang Y-Y, Gupta A, Hamblin MR. Light Based Anti-Infectives: Ultraviolet C Irradiation, Photodynamic Therapy, Blue Light, and Beyond. *Curr Opin Pharmacol*, 2013;13(5):731-62. DOI: 10.1016/j.coph.2013.08.009
14. Dai T, Vrahas MS, Murray CK, Hamblin MR. Ultraviolet C Irradiation: An Alternative Antimicrobial Approach to Localized Infections? *Expert Rev Anti Infect Ther*, 2012;10(2):185-95. DOI: 10.1586/eri.11.166.
15. Boker A, R-CG, Cumbie B, Kimball AB. A single-center, prospective, open-label, pilot study of the safety, local tolerability, and efficacy of ultraviolet-C (UVC) phototherapy for the treatment of great toenail onychomycosis. *J Am Acad Dermatol* 2007;58:AB82. DOI: 10.1016/j.jaad.2007.10.366
16. Massicotte R. Désinfectants et désinfection en hygiène et salubrité : principes fondamentaux. Direction des communications, Santé et services sociaux Québec 2009.
17. Setlow J K, Duggan DE. The resistance of *Micrococcus radiodurans* to ultraviolet radiation: I. Ultraviolet-induced lesions in the cell's DNA. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Specialized Section on Nucleic Acids and Related Subjects*. 1964;87(Issue 4):664-668. [https://doi.org/10.1016/0926-6550\(64\)90284-1](https://doi.org/10.1016/0926-6550(64)90284-1).
18. Chan H-L, Gaffney PR, Waterfield MD, Anderle H, Matthiessen HP, Schwarz H-P, Turecek PL, Timms JF. Proteomic Analysis of UVC Irradiation-Induced Damage of Plasma Proteins: Serum Amyloid P Component as a Major Target of Photolysis. *FEBS Lett*. 2006;580(13):3229-36. DOI: 10.1016/j.febslet.2006.05.002.
19. Banyasz A, Karpati S, Lazzarotto E, Markovitsi D, Douki T. UV-Induced Structural Changes of Model DNA Helices Probed by Optical Spectroscopy. *J. Phys. Chem. C* 2009; 113, 27, 11747–50. <https://doi.org/10.1021/jp901841s>
20. Kim T, Silva JL, Chen TC. Effects of UV Irradiation on Selected Pathogens in Peptone Water and on Stainless Steel and Chicken Meat. *J Food Prot*. 2002;65(7):1142-5. DOI: 10.4315/0362-028x-65.7.1142.
21. Kavakli IH, Sancar A. Analysis of the Role of Intraprotein Electron Transfer in Photoreactivation by DNA Photolyase in Vivo. *Biochemistry*. 2004 D;43(48):15103-10. DOI: 10.1021/bi0478796.
22. Salcedo I, Andrade JA, Quiroga JM, Nebot E. Photoreactivation and Dark Repair in UV-treated Microorganisms: Effect of Temperature. *Appl Environ Microbiol*. 2007;73(5):1594-600. DOI: 10.1128/AEM.02145-06.
23. Scotti M, Monzó HJ, Lacharme-Lora L, Lewis DA, Vázquez-Boland JA. The PrfA Virulence Regulon. *Microbes Infect*. 2007;9(10):1196-207. DOI: 10.1016/j.micinf.2007.05.007.
24. Gyllencreutz JD, Boström KB, Terstappen K. Does It Look Like Melanoma? A Pilot Study of the Effect of Sunless Tanning on Dermoscopy of Pigmented Skin Lesions. *Br J Dermatol*. 2013;168(4):867-70. DOI: 10.1111/bjd.12194.
25. Date, E. Rayonnements ultraviolets et risques de cancer.
26. Ultraviolets : état des connaissances sur l'exposition et les risques sanitaires. <https://www.cancer-environnement.fr/Portals/0/Documents%20PDF/Rapport/Anses/UV-etat-des-connaissances-exposition-risques-sanitaires.pdf>
27. Rosenthal FS, Bakalian AE, Taylor HR. The effect of prescription eyewear on ocular exposure to ultraviolet radiation. *Am J Public Health*. 1986;76(10):1216–1220. DOI: 10.2105/ajph.76.10.1216.
28. Aubin F. Photo-immunologie. Effets immunologiques des radiations ultraviolettes et implications en dermatologie. *Besançon* 2012;18:131.
29. ICNIRP guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPUV2004.pdf>
30. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. In Collaboration with: International Labour Organization World Health Organization. https://www.who.int/uv/publications/Protecting_Workers_UV_pub.pdf
31. Logiciel d'évaluation de l'exposition aux rayonnements optiques dans les locaux de travail. *CatRayon5*, INRS, 2018. <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil03>
32. Exposition professionnelle aux rayonnements optiques artificiels. Guide d'évaluation des risques sans mesure. <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206343>