

Mesure du rayonnement ultraviolet – Notes de l'ICC 2/2

Le rayonnement ultraviolet (UV)

Il importe qu'une collection soit le moins possible exposée aux UV en raison de la détérioration cumulative de la couleur et de la structure des matériaux qu'ils provoquent. La présente Note de l'ICC traite des différents moyens de mesurer les UV et fournit des paramètres pour estimer l'incidence potentielle du rayonnement sur une collection. Pour plus de renseignements sur les dommages dus aux UV et l'utilisation de filtres UV, consulter la Note de l'ICC 2/1 [Filtres ultraviolets](#).

Mesure des niveaux des UV

Il existe deux méthodes courantes pour mesurer les UV : comparer le niveau relatif des UV par rapport à l'intensité de la lumière émise par une source ou mesurer le niveau absolu des UV à la surface d'un objet.

Mesure du niveau relatif des UV

La mesure du niveau relatif des UV sert principalement dans le milieu de la préservation du patrimoine et n'est à peu près pas utilisée par les professionnels qui exercent dans d'autres disciplines. Elle correspond au rapport entre le niveau des UV auquel est exposée une surface et l'intensité du rayonnement visible (exprimée en lumens) émis par la même source lumineuse. Pour prendre cette mesure, il est préférable de pointer l'instrument de mesure des UV en direction de la source lumineuse. Le niveau relatif permet une comparaison rapide de la quantité d'UV provenant de différentes sources lumineuses, indépendamment de l'intensité de la lumière. Le tableau 1 montre l'éventail possible de niveaux des UV émis par différentes sources lumineuses, exprimés en microwatts par lumen ($\mu\text{W}/\text{lumen}$). Les sources lumineuses où les UV atteignent le plus haut niveau sont le soleil et les lampes à décharge à haute intensité (DHI), tandis que les lampes à diodes électroluminescentes (DEL) (DEL bleues avec luminophore) affichent le plus faible niveau. Grâce aux progrès technologiques réalisés au cours des dernières décennies, les lampes fluorescentes émettent considérablement moins d'UV. Les mesures indiquées dans le tableau 1 englobent celles effectuées sur les longs tubes fluorescents anciens et nouveaux.

Tableau 1. Niveau relatif typique des UV émis par différentes sources lumineuses (adaptation et mise à jour des documents de Michalski [2011] et de Saunders [1989])

Sources de lumière	Niveau relatif des UV ($\mu\text{W}/\text{lumen}$)
Incandescente, classique (lampe au tungstène)	60 à 80
Incandescente, lampe quartz-halogène	100 à 200
Fluorescente, long tube	30 à 150
Fluorescente, compacte	70 à 150
DHI (décharge à haute intensité), p. ex. lampe aux halogénures métalliques	160 à 700
DEL blanche (DEL bleue avec luminophore)	habituellement inférieur à 1
Lumière du jour (lumière de l'extérieur pénétrant dans la pièce)	300 à 600

Mesure du niveau absolu des UV

La mesure du niveau absolu des UV désigne la quantité d'énergie UV à laquelle est exposé un objet par unité de surface, exprimée en milliwatts par mètre carré (mW/m^2). Elle est utile pour déterminer la dose d'UV reçue par l'objet, ce qui contribue à prédire son état ultérieur (d'une manière un peu semblable à ce qui se passe quand on calcule la dose d'éclairement). Au moment de prendre cette mesure, il est préférable que l'instrument de mesure des UV soit parallèle à la surface de l'objet. Convenablement positionné, il mesure les UV émis par des sources multiples.

Corrélation entre le niveau relatif et le niveau absolu des UV

Il est facile de convertir le niveau relatif des UV en niveau absolu. Pour prendre les mesures des UV et de la lumière, on place le capteur de l'instrument parallèlement à la surface de l'objet. Le niveau du rayonnement s'exprime en lux. Pour convertir le niveau relatif mesuré des UV en niveau absolu, on utilise l'équation que voici :

$$UV_{Ab} = \frac{L \times UV_R}{1000} \quad \text{Équation 1}$$

où L désigne l'intensité lumineuse (lux) en lumen/ m^2 ; UV_R , le niveau relatif des UV en $\mu\text{W}/\text{lumen}$; et UV_{Ab} , le niveau absolu des UV en mW/m^2 .

Exemple :

Si la surface d'un tableau est éclairée par une source lumineuse de 100 lux dont le niveau relatif des UV est de $75 \mu\text{W}/\text{lumen}$, le niveau absolu des UV auquel est exposé le tableau est de $100 \times 75/1000 = 7,5 \text{ mW}/\text{m}^2$.

Seuils maximaux des niveaux des UV recommandés

Niveau relatif des UV (UV_R)

Selon Thomson (1978), la quantité d'UV émis par les lampes au tungstène classiques est environ six fois inférieure à celle des UV émis par la lumière du jour. Il suggère donc

d'établir le niveau des UV de ces lampes ($\sim 75 \mu\text{W}/\text{lumen}$) comme seuil maximal à ne pas dépasser pour les sources de lumière dans les musées, sous lequel il n'y a pas lieu de poser de filtres UV. S'il n'a pas recommandé un seuil maximal plus bas, c'est essentiellement pour éviter les risques d'incendie découlant de la pose de filtres en plastique sur des lampes dégageant beaucoup de chaleur.

Thompson prône aussi l'éclairage à faible intensité sur les objets moyennement ou très photosensibles, soit 50 et 200 lux respectivement. Dans une publication ultérieure, Saunders (1989) recommande l'adoption d'un seuil plus bas, soit $10 \mu\text{W}/\text{lumen}$ d' UV_R , en se basant sur l'efficacité des filtres UV offerts sur le marché, dont la résistance à la chaleur est meilleure. Même s'il vaut mieux réduire au minimum l'intensité des UV, ces deux seuils acceptables figurent dans les études en matière de conservation, bien que la préférence générale aille vers les $75 \mu\text{W}/\text{lumen}$. Remarque : Il est aussi très important d'utiliser des filtres efficaces pour atténuer les UV des radiations solaires directes ou indirectes (ciel bleu). (Consulter la Note de l'ICC 2/1 [Filtres ultraviolets](#).)

Niveau absolu des UV (UV_{Ab})

Pour les collections, il est utile de définir le niveau absolu maximal d'exposition aux UV. Le tableau 2 présente diverses recommandations sur le niveau des UV_R , puis sur le niveau des UV_{Ab} , selon deux scénarios d'intensité lumineuse habituels dans les musées. Les quantités d' UV_R sont indépendantes de l'intensité lumineuse et permettent une simple comparaison du niveau des UV de chaque source lumineuse en proportion de la lumière (en lumens). Le niveau d' UV_{Ab} augmente proportionnellement au niveau de lux, ce que mettent en évidence les scénarios de 50 lux et 200 lux (c.-à-d. que, quand le nombre de lux est quadruplé, le niveau d' UV_{Ab} quadruple). On pourrait considérer que le niveau d' UV_{Ab} de $10 \text{ mW}/\text{m}^2$ est le seuil maximal admissible, puisqu'il est proche de la quantité d'UV à laquelle un objet est exposé sous l'éclairage d'une lampe au tungstène. Plus important encore, cette valeur correspond aussi à la lumière du jour de faible intensité lorsqu'on utilise un filtre UV efficace.

Tableau 2. Niveaux relatifs et niveaux absolus des UV selon différentes recommandations et différents scénarios*

Recommandations et sources de lumière	UV _R ($\mu\text{W/lumen}$)	UV _{Ab} à 50 lux (mW/m^2)	UV _{Ab} à 200 lux (mW/m^2)
Niveau recommandé par Thomson	75	3,8	15
Niveau recommandé par Saunders	10	0,50	2,0
Lumière du jour (ciel bleu ¹)	500	25	100
Lampe au tungstène classique	75	3,8	15
Lumière du jour avec réduction de 90 % des UV**	50	2,5	10
Lampe au tungstène classique avec réduction de 90 % des UV**	7,5	0,38	1,5
* Le niveau des UV a été mesuré à l'aide d'un instrument de mesure de marque Elsec. ** L'efficacité des filtres à 90 % est basée sur la capacité des filtres à réduire les UV mesurés à l'aide d'un instrument de mesure des UV de marque Elsec.			

Dans le domaine de la conservation du patrimoine, les mesures du niveau relatif et du niveau absolu des UV sont couramment effectuées à l'aide d'un instrument de mesure des UV de marque Elsec fabriqué par la société britannique Littlemore Scientific. Les photodiodes de ces instruments sont surtout sensibles aux UV dans la plage de ~340 à 380 nm. S'il y a lieu, les mesures obtenues avec d'autres instruments devront être ajustées avant d'être comparées avec les valeurs recommandées. Compte tenu de sa plage de lecture restreinte, l'instrument de mesure portatif Elsec n'est pas l'idéal, mais il est très utile à des fins pratiques et largement utilisé.

Niveau absolu pondéré des UV (UV_{AbW})

Pour effectuer une évaluation plus détaillée des risques associés à l'exposition aux UV, on prend en considération la réaction possible des matériaux à différentes longueurs d'onde (λ), ce dont il vaut la peine de tenir compte avant d'acheter du vitrage en quantité pour les objets vulnérables. On sait que les ondes courtes risquent d'altérer davantage la structure des matériaux organiques. En 1951, le National Bureau of Standards a évalué les dommages photochimiques subis par les papiers acides à différentes longueurs d'onde. Par la suite, Michalski (1987), Feller (1994), Andradý et ses collaborateurs (1998) de même que la Commission internationale de l'éclairage (CIE) (2004) ont regroupé des données sur le lien entre les dommages subis par divers matériaux, y compris des matières colorantes, et la longueur d'onde à laquelle ils ont été exposés. Comme chaque matériau réagit aux radiations à sa manière en raison de sa propre capacité à absorber l'énergie, on ne peut prédire les dommages que de façon très générale.

La CIE (2004) et l'Organisation internationale de normalisation (ISO) (2003) ont adopté une fonction d'évaluation des dommages, $D(\lambda)$, comme représentation empirique de la

réaction des objets aux UV et à la lumière en se basant sur l'altération mesurée des couleurs de certaines aquarelles et peintures à l'huile. Cette fonction est définie de manière à pondérer les dommages subis à une longueur d'onde (λ) de 300 nm à la valeur unitaire selon l'équation que voici :

$$D(\lambda) = \exp[-0,0115(\lambda - 300)] \quad \text{Équation 2}$$

Pour calculer le niveau pondéré des UV, on fait la somme du produit de la fonction d'évaluation des dommages, $D(\lambda)$, et du niveau absolu mesuré des UV, $UV_{Ab}(\lambda)$, et ce, pour chaque longueur d'onde. La fonction a été normalisée afin que les dommages subis à une longueur d'onde de 300 nm correspondent à une valeur de 1. De la sorte, le total du niveau absolu pondéré des UV auquel est exposé un objet se définit selon l'équation que voici :

$$UV_{AbW} = \sum_{\lambda=300}^{400} UV_{Ab}(\lambda)D(\lambda) \quad \text{Équation 3}$$

où les unités sont en mW/m^2 . La formule de l'équation 3 est donnée pour des mesures d' UV_{Ab} à intervalle de longueurs d'onde d'un nanomètre. Le verre et de nombreux plastiques bloquent efficacement les longueurs d'onde plus courtes que 300 nm. Le plus important est donc de prendre en compte le niveau des UV dans la plage allant de 300 nm au début du spectre visible à ~400 nm. Le tableau 3 présente les valeurs d' UV_{AbW} selon divers scénarios. La comparaison des valeurs UV_{AbW} de la lumière du jour et d'une lampe au tungstène mesurées dans les mêmes conditions (intensité lumineuse et filtration des UV) permet de constater que la lumière du jour est d'environ 10 à 13 fois plus dommageable qu'une lampe au tungstène.

Tableau 3. Niveau absolu pondéré des UV (en mW/m²) dans la plage de 300 à 400 nm, selon divers scénarios, basé sur la fonction d'évaluation des dommages de la CIE (2004)

Sources de lumière	UV _{AbW} à 50 lux	UV _{AbW} à 200 lux	UV _{AbW} à 500 lux
Lumière du jour*	23	92	230
Lumière du jour* avec réduction de 30 % des UV** (verre ordinaire)	17	67	170
Lumière du jour* avec réduction de 90 % des UV**	2,9	12	29
Lumière du jour* avec réduction de 99,5 % des UV**	0,051	0,2	0,51
Lampe au tungstène classique	1,9	7,7	19
Lampe au tungstène classique avec verre ordinaire et réduction de 30 % des UV**	1,3	5,3	13
Lampe au tungstène classique avec réduction de 90 % des UV**	0,29	1,2	2,9
Lampe au tungstène classique avec réduction de 99,5 % des UV**	0,0044	0,018	0,044

* Lumière du jour : ciel bleu¹ à Ottawa, en début d'après-midi, en mai 2013.
 ** L'efficacité des filtres à 30, à 90 et à 99,5 % est basée sur la capacité des filtres à réduire les UV mesurés à l'aide d'un instrument de mesure des UV de marque Elsec.

En s'appuyant sur les recommandations révisées en matière de niveau relatif et de niveau absolu des UV dans les musées, on propose un seuil maximal d'UV_{AbW} de 10 mW/m². Si l'on se préoccupe essentiellement de la dégradation de la structure des matériaux plutôt que de la décoloration des matières colorantes, on envisagera d'utiliser la fonction d'évaluation des dommages modifiée, plutôt que l'équation 2 :

$$D(\lambda) = \exp[-0,03(\lambda - 300)] \quad \text{Équation 4}$$

Cette fonction s'applique mieux à la dégradation de nombreux matériaux, comme le papier journal, le bois, le caoutchouc et la peinture, car les ultraviolets lointains (qui s'approchent des longueurs d'onde de 300 nm) ont plus d'effet sur la structure physique que les longueurs d'onde plus proches du spectre visible. Heureusement, les matériaux ordinaires filtrent facilement les longueurs d'onde de l'ultraviolet lointain. La fonction d'évaluation des dommages empirique exprimée dans l'équation 4 est basée sur la consolidation de données de différentes sources (Tétreault, 2013). En cas de doute sur le choix de la fonction adéquate à utiliser, il convient d'employer celle qui est appliquée aux matières colorantes (équation 2), car elle est la plus couramment utilisée et la plus rigoureuse.

Déterminer la réactivité globale des UV selon la longueur d'onde constitue probablement la méthode la plus adéquate pour évaluer leurs effets sur les objets. Toutefois, elle est aussi la plus complexe, car elle requiert l'utilisation d'instruments perfectionnés (un

spectrophotomètre doté d'une sphère intégrante). Cette technologie pourrait devenir plus accessible à l'avenir mais, entre-temps, on peut utiliser des moyens plus simples. Si l'objectif est de déterminer l'incidence des UV des rayons solaires, on peut utiliser la répartition spectrale relative normalisée du rayonnement solaire figurant dans la norme ISO 9050:2003 – *Verre dans la construction – Détermination de la transmission lumineuse, de la transmission solaire directe, de la transmission énergétique solaire totale, de la transmission de l'ultraviolet et des facteurs dérivés des vitrages* (sous le tableau 2 « Normalized Relative Spectral Distribution of Global Solar Radiation »). En pareil cas, la formule de l'équation 2, modifiée, est représentée par l'équation suivante :

$$UV_{AbW} = \cos \varphi \sum_{\lambda=300}^{400} S(\lambda)D(\lambda)T(\lambda) \quad \text{Équation 5}$$

où $S(\lambda)$ désigne la répartition du spectre solaire, et $T(\lambda)$, la transmission des UV du vitrage, telle que l'indiquent les données fournies par le fabricant. Si l'angle d'incidence, φ , est marqué, il y a lieu d'envisager d'utiliser un moyen permettant de réduire l'intensité du rayonnement. Remarque : $\varphi = 0$ indique que le rayon approche la surface à la normale (perpendiculaire); ainsi $\cos(0^\circ) = 1$. Il est aussi possible de demander au fabricant de fournir le spectre d'une source d'éclairage donnée. Il faut alors prendre soin de faire les calculs avec le bon nombre de lumens (p. ex. 50 lux = 50 lumens par mètre carré). Pour comparer les valeurs des niveaux absolus pondérés des UV et les données obtenues pour la lumière du jour (ciel bleu¹, à Ottawa) à 200 lux (tableau 3), il faut multiplier par 31 la valeur de la répartition du spectre solaire $S(\lambda)$ (tirée de la norme ISO 9050).

Réduire au minimum les dommages causés par l'exposition aux UV

Il existe deux grandes méthodes pour réduire les dommages causés aux objets par les UV. La première méthode est de diminuer la quantité d'UV à laquelle les objets sont exposés en choisissant une source de lumière qui en émet peu (tableau 1 ci-dessus), en réduisant l'intensité lumineuse de la source et en utilisant des filtres UV (consulter la Note de l'ICC 2/1 [Filtres ultraviolets](#)). La seconde méthode consiste simplement à réduire la durée d'exposition. Les deux méthodes visent à réduire au minimum la dose totale d'UV (dose d'UV = **quantité d'énergie UV reçue x durée d'exposition**) de la manière utilisée couramment pour atténuer la décoloration due à la lumière (dose de lumière = **lux x durée d'exposition**).

Il est possible d'avoir recours à un enregistreur de données pour mesurer l'intensité des doses de lumière et d'UV auxquelles un objet est exposé au fil du temps. Il est très utile d'enregistrer le rayonnement de manière suivie si l'éclairage varie entre lumière du jour et éclairage électrique avec des intervalles d'intensité lumineuse réduite ou d'absence d'éclairage.

Il ne faut pas oublier que le rayonnement solaire, même sous un ciel bleu¹, émet beaucoup d'UV. Au contraire, les DEL blanches d'usage courant en émettent peu. Avant d'acheter de grandes quantités d'autres types de lampes, il convient de consulter la documentation technique. Pour la plupart des besoins, on cherchera une source offrant un indice de rendu des couleurs (IRC) de 90 ou plus, et une température de couleur faible ou modérée (inférieure à 3 500 K). Il convient de se procurer quelques lampes différentes pour vérifier, dans un contexte donné, leur émission d'UV et la qualité de l'éclairage. Finalement, le véritable test consiste à mesurer les UV auxquels un objet est exposé dans son milieu particulier.

Conclusion

Le niveau maximal des UV recommandé, exprimé en niveau relatif, absolu ou absolu pondéré, est une donnée à laquelle se réfèrent les professionnels du milieu muséal pour réduire au minimum les effets des UV sur les objets de collection. Les valeurs préconisées sont susceptibles de changer avec le temps selon l'évolution des connaissances sur la sensibilité des objets aux rayonnements, les nouvelles technologies et l'atteinte d'un équilibre entre les pratiques de conservation et les pratiques durables. En ce qui a trait à l'évaluation des risques, il est intéressant de mieux quantifier la réaction possible des UV sur les objets. On y parvient en mesurant le niveau absolu pondéré des UV ou la quantité d'UV à laquelle sont exposés les objets, ce qui fournit aussi des renseignements sur les dommages potentiels. Dans un cas comme dans l'autre, il est préférable de maintenir le niveau des UV sous la barre des 10 mW/m² s'il s'agit de matériaux organiques.

Note

¹ L'expression « ciel bleu » désigne un ciel dégagé à mi-journée du côté opposé au soleil. Dans l'hémisphère Nord, il s'agit du côté nord quand le soleil est au sud. Par opposition, dans l'hémisphère Sud, le ciel bleu se trouve du côté sud quand le soleil est au nord.

Bibliographie

ANDRADY, A.L., S.H. HAMID, X. HU et A. TORIKAI. « Effects of Increased Solar Ultraviolet Radiation on Materials », *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, vol. 46 (1998), p. 96-103.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (CIE). *Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation*, rapport technique CIE 157, Vienne (Autriche), Commission internationale de l'éclairage, 2004.

FELLER, R.L. [*Accelerated Aging: Photochemical and Thermal Aspects*](#), Research in Conservation, s. 1., The J. Paul Getty Trust, 1994.

ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION (ISO).
ISO 9050:2003 – Verre dans la construction – Détermination de la transmission lumineuse, de la transmission solaire directe, de la transmission énergétique solaire totale et de la transmission de l’ultraviolet et des facteurs dérivés des vitrages, 2^e éd., Organisation internationale de normalisation (ISO), Genève (Suisse), 2003.

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (NBS). [*Preservation of the Declaration of Independence and the Constitution of the United States*](#), NBS Circular 505, Washington (D.C.), 1951.

SAUNDERS, D. « [Ultra-Violet Filters for Artificial Light Sources](#) », *National Gallery Technical*, vol. 13, Londres (Royaume-Uni), The National Gallery, 1989, p. 61-68.

SAUNDERS, D., et J. KIRBY. « Wavelength-dependent Fading of Artists’ Pigments », dans *Preventive Conservation: Practice, Theory, and Research: Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress* (sous la direction de A. Roy et P. Smith), International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Londres (Royaume-Uni), 1994, p. 190-194.

TÉTREAULT, J. *Damage Function Based on UV Spectrum for Different Materials*, Rapport de l’ICC 125877, Institut canadien de conservation, Ottawa (Ontario), 2013.

TÉTREAULT, J. [Filtres ultraviolets](#), Notes de l’ICC 2/1, Institut canadien de conservation, Ottawa (Ontario), 2015.

THOMSON, G. *The Museum Environment*, 1^{re} éd., Butterworths, Londres (Royaume-Uni), 1978.

Jean Tétreault

Également publié en version anglaise.
Also available in English.

© Gouvernement du Canada, Institut canadien de conservation, 2015

ISSN 1928-5272