



Patrimoine  
canadien

Canadian  
Heritage

Institut  
canadien de  
conservation

Canadian  
Conservation  
Institute

RECEIVED / REÇU  
LIBRARY / BIBLIOTHÈQUE

APR 25 1988

CANADIAN CONSERVATION INSTITUTE  
INSTITUT CANADIEN DE CONSERVATION  
OTTAWA

Bulletin technique

2

---

# L'éclairage des musées

Par K.J. Macleod

L'éclairage des musées

K.J. Macleod

1. Introduction	1
2. Lumière et rayonnement électromagnétique	1
3. Température de couleur et corps noir	3
4. Éclairement	6
5. Sources lumineuses et facteurs psychologiques connexes	8
6. Détérioration photochimique	9
7. Niveaux d'éclairage recommandés	10
8. Contrôle du rayonnement ultra-violet	10
9. Appareils de mesure	11
Notes et renvois	13

Texte français établi par  
Jean-Paul Morisset

Institut canadien de conservation  
Musées nationaux du Canada  
Ottawa K1A 0M8

Avril 1975

---

## Résumé

Ce bulletin a pour but de sensibiliser le personnel des musées aux problèmes que pose l'éclairage des objets, ainsi qu'aux moyens qui permettent de réduire les dommages qu'il peut provoquer. On trouvera dans les premières pages un bref exposé sur la nature de la lumière; on s'y familiarisera avec les concepts et les unités de mesure qu'il faut connaître. On découvrira ensuite les différences qui existent entre les radiations émanant de diverses sources: lumière naturelle, éclairage incandescent, lampes fluorescentes, ainsi que leurs effets respectifs en ce qui concerne la détérioration photochimique. La dernière partie est consacrée aux considérations pratiques: niveaux d'éclairage acceptables, méthodes utilisées pour réduire ou filtrer la lumière, considérations psychologiques.

## Abstract

The purpose of this bulletin is to enable museum and art gallery staff to become more aware of problems associated with museum lighting and of techniques for minimizing the deterioration that may be caused by it. The bulletin begins with a general description of the nature of light and an explanation of concepts and quantities which must be understood in order to examine the problems. The characteristic differences of radiation from different sources, such as natural lighting, fluorescent lighting and incandescent lighting, are examined, as well as the implications these differences have with respect to photochemical deterioration. Recommended safe lighting levels are given. Practical ways of reducing levels of lighting intensity and eliminating the most damaging portion of the radiation are also discussed, while considering psychological factors relating to the shift in colour temperature as lighting intensities are decreased.

1. Introduction

Il n'est sans doute pas nécessaire d'expliquer pourquoi le personnel des musées doit posséder certaines connaissances sur la lumière et l'éclairage. Sans lumière, on ne peut rien voir; de plus, les variations d'intensité de l'éclairage peuvent modifier du tout au tout l'apparence des couleurs d'une oeuvre d'art. Par ailleurs, la lumière possède certaines propriétés nocives qui peuvent contribuer à la détérioration d'un objet. La décoloration des peintures et des pigments en est un exemple frappant. Il incombe donc à tous ceux qui s'occupent, de loin ou de près, d'exposer des objets de musée, d'acquérir certaines connaissances sur l'éclairage.

Mais il n'est pas facile de se familiariser avec ce domaine si l'on ne possède pas une certaine formation scientifique. Même du point de vue de la physique, la couleur et la lumière demeurent des sujets fort complexes: des recherches approfondies se poursuivent encore en vue d'en clarifier certains aspects. Le problème se complique davantage du fait que l'apparence de la couleur n'est pas un phénomène purement physique, mais comporte également des dimensions physiologiques et psychologiques. Ne nous étonnons donc pas si même les mieux intentionnés se découragent devant un traité consacré à ce sujet.

Ce bulletin technique est destiné aux profanes. Il existe déjà de nombreux traités scientifiques sur ce sujet, mais leur spécialisation en réserve l'usage à ceux qui savent s'en servir. Nous avons simplement cherché ici à présenter un texte de vulgarisation facile à lire, qui permettra à quiconque de s'initier à ce domaine et d'acquérir un vocabulaire suffisant pour discuter avec des architectes et des ingénieurs éclairagistes. Il ne faut quand même pas minimiser l'effort exigé du lecteur. Certaines définitions sembleront peut-être abstraites, mais il est indispensable de posséder un minimum de vocabulaire technique.

2. Lumière et rayonnement électromagnétique

Les physiciens définissent le rayonnement, par exemple la lumière visible, comme un mouvement ondulatoire; cela signifie que les propriétés électriques et magnétiques de l'espace sont modifiées de façon à se répéter périodiquement pendant un certain temps et sur une certaine distance, tout comme les vagues ondulent quand on jette un caillou dans une mare. Une période est l'intervalle entre le passage de la crête d'une onde à un point donné et l'arrivée d'une deuxième crête à ce même point. La fréquence est intimement reliée à la période (en réalité elle en constitue l'inverse), car elle représente le nombre d'ondes qui passent à un point donné dans une seconde. La fréquence s'exprime en hertz, c'est-à-dire en ondes par seconde. Dans le présent bulletin technique, le symbole de la fréquence est la lettre  $f$ . Le symbole  $\nu$  est souvent, mais pas toujours, employé à la place de  $f$ . La distance entre deux crêtes successives est appelée la longueur d'onde; elle se mesure en général en fractions d'un mètre: un centimètre (un centième de mètre,  $10^{-2}$ ), un micromètre (un millionième de mètre,  $10^{-6}$ ) ou un nanomètre (un milliardième de mètre,  $10^{-9}$ ). On verra également l'unité Angström (Å), qui vaut un dixième d'un milliardième de mètre ( $10^{-10}$ ). La longueur d'onde est souvent représentée par le lettre grecque  $\lambda$ .

Si  $f$  représente le nombre d'ondes passant en un point donné par seconde et si  $\lambda$  représente la longueur de chaque onde, alors, de toute évidence, une onde quelconque parcourra une distance de  $f\lambda$  en une seconde, c'est-à-dire que la vitesse ou la vélocité du courant ondulatoire est égale à la fréquence multipliée par la longueur d'onde. Dans le vide, la vitesse de toutes les longueurs d'onde de rayonnement est constante, et se situe aux environs de 30 milliards de centimètres par seconde ( $3 \times 10^{10}$  cm/sec.) soit 186,000 milles par seconde. En

général, le symbole  $c$  représente le vélocité; pour ceux qui ont un faible pour l'algèbre, ajoutons que la relation entre la vélocité, la fréquence et la longueur d'onde peut se résumer ainsi:

$$c = f \lambda$$

Puisque  $c$  est constant, la longueur d'onde  $\lambda$  s'accroît au fur et à mesure que la fréquence  $f$  diminue et vice-versa. Il existe un spectre complet de rayonnements électromagnétiques de longueurs d'onde différentes, allant du très grand au très petit; étant donné que chaque fréquence est reliée à une longueur d'onde par l'équation ci-dessus, il suffit de préciser soit la longueur d'onde, soit la fréquence pour obtenir une définition complète d'un rayonnement pur se propageant dans le vide <sup>1</sup>.

La figure I présente les principales régions du spectre électromagnétique. Au fur et à mesure que la longueur d'onde varie, les propriétés du rayonnement varient également, non pas aussi abruptement que le laisse croire le schéma, mais graduellement, en passant d'un type de rayonnement à un autre. La figure 2 illustre la très petite partie du spectre électromagnétique total que nous appelons la région visible, les longueurs d'onde associées aux couleurs spectrales, ainsi que les parties des régions spectrales de l'infrarouge et de l'ultra-violet immédiatement adjacentes. Dans le cadre de la présente étude, nous ne nous occuperons que de la bande reproduite à la figure 2.

La détérioration des objets sous l'effet de l'élément IR de la lumière est presque exclusivement thermique. Le rayonnement

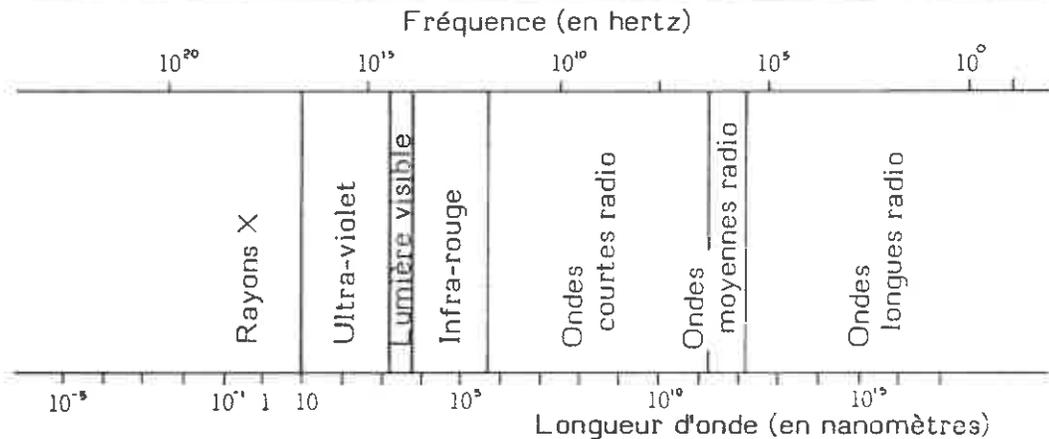


FIGURE 1. LE SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE.

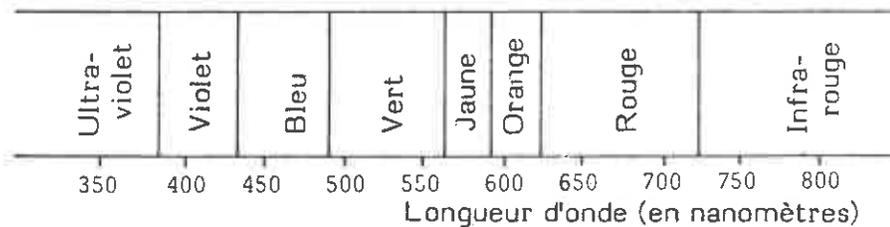


FIGURE 2. LE SPECTRE VISIBLE.

infrarouge que les molécules absorbent provoque l'augmentation de la température des objets, accélérant ainsi leur détérioration. D'autre part, le rayonnement visible et, encore davantage, le rayonnement ultra-violet sont suffisamment puissants pour provoquer une détérioration photochimique. Afin de comprendre ces phénomènes, il nous faut étudier un autre aspect du rayonnement: son énergie.

En plus de considérer la lumière comme un mouvement ondulatoire de caractère électromagnétique qui survient dans l'espace, les physiciens modernes estiment qu'il est utile d'admettre l'hypothèse qu'elle est composée de minuscules corpuscules d'énergie appelés photons; l'équation suivante illustre la quantité d'énergie que porte un photon:

$$E = hf$$

où  $f$  est toujours le symbole de la fréquence et  $h$  le symbole de la constante de Planck. Bref, au fur et à mesure que la fréquence augmente (ou, en d'autres termes, que la longueur d'onde diminue), le rayonnement devient porteur de plus d'énergie. Par conséquent, en partant du rouge et, en passant par le rayonnement visible, en allant jusqu'à l'ultra-violet, la longueur d'onde raccourcit, l'énergie dont elle est porteuse augmente et les risques de détérioration photochimique s'accroissent. Heureusement, le verre absorbe les rayonnements de moins de 300 à 310 nanomètres, ce qui épargne aux objets exposés dans les musées les rayons les plus dommageables. Néanmoins, il faut éliminer tout rayonnement qui peut endommager les objets. c'est-à-dire dont la longueur d'onde se situe entre 300 et 400 nanomètres. On trouvera sous la rubrique "Détérioration photochimique" des précisions sur la façon dont se produit cette détérioration.

### 3. Température de couleur et corps noir

Lorsqu'une lumière contenant une ou plusieurs longueurs d'onde éclaire un objet de couleur blanche, toutes les longueurs d'onde s'y réfléchissent très bien. C'est pourquoi cet objet paraît blanc sous une lumière blanche, rouge sous une lumière rouge, etc. Une matière susceptible d'absorber presque entièrement toute la lumière visible qui la frappe ne peut la réfléchir suffisamment pour stimuler la rétine de l'oeil humain; l'objet paraît donc noir. Les objets de couleur absorbent certaines des longueurs d'onde de la lumière, mais réfléchissent les autres. Un objet rouge, par exemple, réfléchit surtout la partie rouge du spectre; éclairé par une lumière blanche, il absorbe toutes les longueurs d'onde sauf celles qui correspondent au rouge (<620 nm), qu'il réfléchit; l'observateur perçoit donc l'objet comme rouge.

Les objets noirs absorbent très bien toute lumière. Tout objet stable, pour garder sa température constante, doit rayonner autant d'énergie qu'il en absorbe; par conséquent, un objet noir doit également être un radiateur efficace. Cependant, si l'énergie transmise est égale à l'énergie absorbée, elle n'est pas ordinairement associée aux mêmes longueurs d'onde que la lumière incidente. Ainsi, un objet noir absorbe, à la température ambiante, l'ensemble de la lumière incidente, mais n'émet que des radiations infra-rouges très longues, que l'oeil humain ne peut percevoir.

Partant du fait qu'une matière noire constitue un excellent radiateur, les physiciens ont imaginé un absorbant-radiateur théorique qu'ils ont appelé corps noir ou radiateur parfait. Ils ont établi des équations à partir desquelles il est possible de tracer des graphiques illustrant la quantité relative d'énergie que chaque longueur d'onde d'un corps noir émet, quelle que soit la

température. Lorsqu'un corps est chauffé, il émet des rayons infra-rouges: en le touchant, la main en sent la chaleur. Si on continue à le chauffer, le corps émet d'abord des lueurs rouges; puis les longueurs d'onde des radiations émises sont de plus en plus courtes: l'objet passe du rouge terne au rouge vif, à l'orange, au jaune et devient finalement blanc, puis bleuâtre. Le corps noir réagit de la même façon: car il y a une répartition bien définie de l'énergie associée à chaque longueur d'onde irradiée, qui varie d'une température à l'autre. Comme nous l'avons dit, le corps noir est un concept théorique; mais il est facile de le concrétiser au moyen d'une fournaise spéciale (dont les températures peuvent varier) d'où le rayonnement est émis à travers une petite ouverture. Habituellement, on indique la température d'après l'échelle dite de température absolue; on l'exprime alors en degrés Kelvin<sup>2</sup>. Des objets réels peuvent avoir un comportement qui se rapproche plus ou moins de celui du corps noir théorique, à divers degrés de température.

Le figure 3 représente par une série de courbes les énergies relatives des spectres irradiés par un corps noir à divers degrés de température. Bien que l'énergie transmise aux différentes longueurs d'onde augmente au fur et à mesure que la température s'élève, pour faciliter la préparation du graphique, la quantité d'énergie enregistrée à 550 nm est évaluée arbitrairement à 100. Comme nous pouvons le constater, plus la température s'élève, plus les longueurs d'onde des rayonnements sont courtes; s'il était possible de voir la lumière transmise, celle-ci paraîtrait rouge à basse température, puis, selon la courbe d'augmentation de la température, blanche et finalement bleue.

Les graphiques du corps noir de la figure 3 sont utiles parce qu'ils permettent, quoique de façon très approximative, de clarifier les caractéristiques chromogènes des diverses sources lumineuses. Il est possible de mesurer la distribution de l'énergie spectrale de la lumière irradiée par une ampoule au tungstène, par exemple une ampoule de 100 watts, et de

comparer le graphique s'y rapportant à un ensemble de graphiques relatifs au corps noir à différentes températures. Étant donné que la lampe au tungstène n'est pas un corps noir, son graphique ne sera identique à aucune courbe du corps noir. Toutefois, il existe une certaine similitude entre le graphique de l'ampoule et celui du corps noir à une température de 2860°K. On peut alors dire que la température de couleur de cette ampoule de 100 watts atteint 2860°K, c'est-à-dire que son spectre d'émission s'apparente plus ou moins étroitement à celui d'un corps noir dont la température serait de 2860°K. Nous pourrions procéder à des mesures

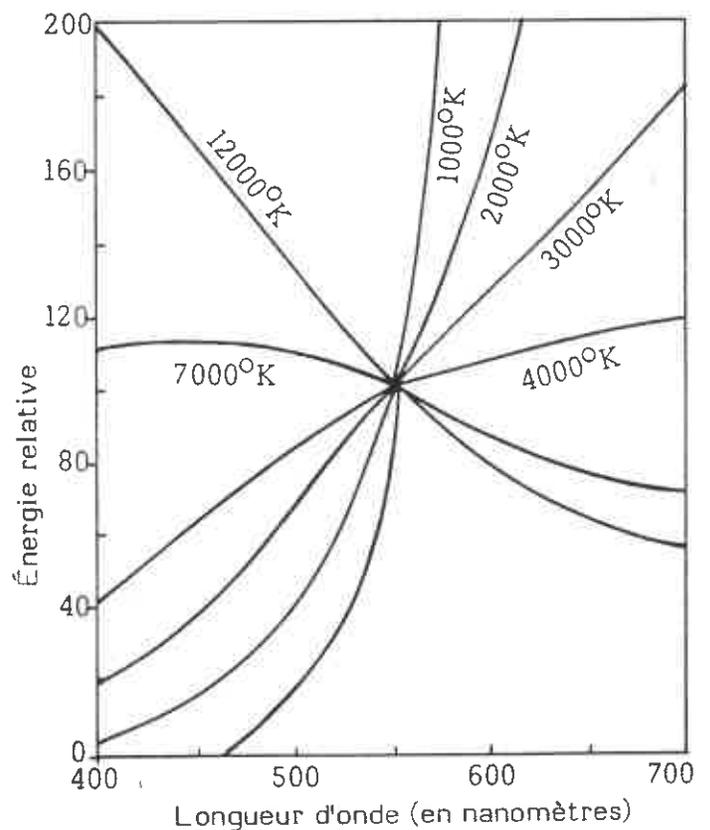


FIGURE 3. Répartition de l'énergie relative des radiateurs à corps noir à diverses températures.

spectrales semblables pour la lumière solaire à midi en été; la figure 4 illustre ce phénomène. Ce diagramme montre jusqu'à quel point la corrélation est approximative entre le graphique de la source lumineuse naturelle et celui du corps noir, particulièrement à l'extrémité du spectre où la longueur d'onde est très courte (région bleue). Néanmoins, il nous permet d'attribuer une certaine valeur aux caractéristiques chromogènes de la lumière solaire. D'autres expériences du même genre nous permettront de déterminer la température de couleur d'autres sources lumineuses: bougie, lampe de photographie, etc. Nous nous heurtons à un problème, cependant, si nous recourons à cette méthode pour déterminer la température de couleur de sources lumineuses comme les lampes fluorescentes, les lampes à vapeur de mercure, etc., où la distribution des fréquences ne ressemble en aucune façon aux courbes du corps noir. Comme nous pouvons le constater à la figure 5, les courbes de répartition spectrale pour les lampes fluorescentes présentent des protubérances, correspondant à un degré d'énergie extrêmement élevé pour des longueurs d'onde précises, qui font que ces courbes sont tout à fait différentes de celles que nous avons déjà étudiées. Cela rend toute comparaison parfaitement artificielle, sinon même inutile. Un tube fluorescent de type "lumière du jour" a une répartition énergétique tout à fait différente de celle de la lumière solaire ou d'un corps noir. On associe quand même aux tubes fluorescents la température de couleur du corps noir qui, pour l'oeil humain, paraît de la même couleur que la source lumineuse en cause.

Les températures de couleur permettent la classification des sources lumineuses en fonction des caractéristiques du rendu des couleurs. Elles sont surtout utiles pour la photographie en couleur où il est nécessaire d'assortir le film à la source lumineuse, mais elles servent également toutes les fois qu'il faut reproduire le rendu des couleurs d'un objet quelconque dans un nouvel environnement.

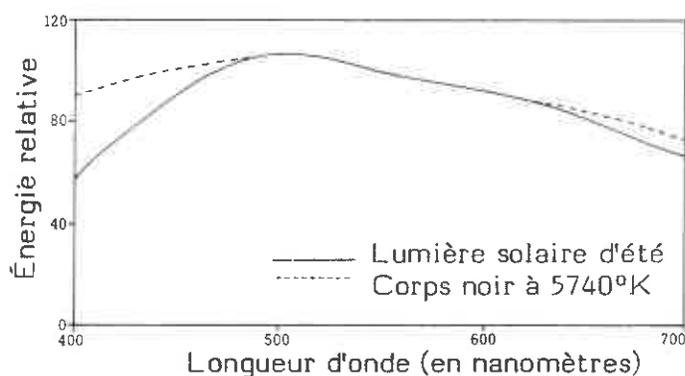


FIG. 4. Courbes de répartition énergétique de la lumière solaire et d'un corps noir de même couleur.

Il serait bon de signaler deux domaines de confusion possibles. Premièrement, une température de couleur plus élevée produit des effets tout à fait contraires au principe de la chaleur de l'éclairage comme l'entend un artiste. En d'autres termes, plus la température de couleur est élevée, plus elle contient de lumière bleue et par conséquent plus l'éclairage est "froid" sur le plan esthétique. Deuxièmement, la température de couleur n'a absolument rien à voir avec l'intensité des éclairages. Certains croient qu'un certain éclairage est plus fort

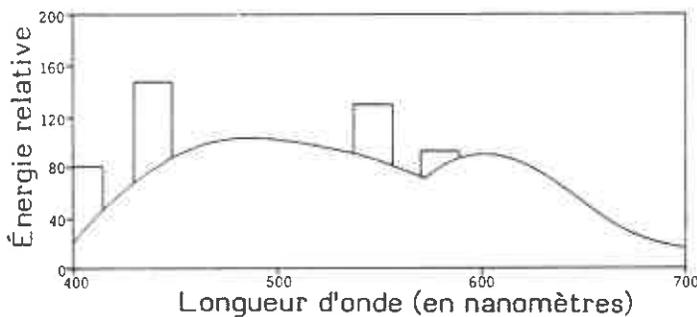


FIG. 5. Courbe de répartition spectrale des lampes fluorescentes de type "lumière du jour".

qu'un autre parce que la température de couleur en est plus élevée, ou encore que la température de couleur est plus élevée parce que l'intensité est plus grande. C'est faux. En réalité, la température de couleur ne se rapporte qu'à la proportion des rayonnements de différentes longueurs d'onde produits par une source lumineuse. Peu importe que l'éclairage soit fort ou faible: il est certain qu'un objet qui est près de la source lumineuse sera beaucoup mieux éclairé que celui qui en est éloigné; la température de couleur n'en demeure pas moins la même. Il est aussi possible de modifier l'intensité de la lumière en interposant des filtres neutres sans pour cela en changer la température de couleur.

Le tableau 1 énumère les températures de couleur d'un certain nombre de sources lumineuses. La lumière céleste venant du nord, par temps nuageux, se situe en général entre 6500 et 7500°K.

TABLEAU 1

Température de couleur de  
diverses sources lumineuses.

Source	Degrés Kelvin
Bougie ou lampe à pétrole	1 900
Lampe au tungstène, 40 watts	2 760
Lampe au tungstène, 60 watts	2 790
Lampe au tungstène, 100 watts	2 860
Lampe fluorescente "blanc chaud"	3 500
Lampe fluorescente "blanc froid"	4 500
Lumière solaire à midi	5 000
Lampe fluorescente de type "lumière du jour"	6 500
Ciel partiellement nuageux	7 500
Ciel bleu légèrement brumeux	9 000
Ciel bleu pur	25 000

Il ne faut pas oublier non plus que le pourcentage de l'énergie totale des rayonnements de la région ultra-violette varie d'une source lumineuse à une autre. Dans le cas des lampes incandescentes au tungstène, ce pourcentage est négligeable (inférieur à 1%). Dans le cas des lampes fluorescentes, le pourcentage peut varier entre 3 et 7%; il peut atteindre 25% pour la lumière solaire. Bref, toutes choses égales d'ailleurs, la lumière naturelle est plus dommageable pour les objets que les lampes fluorescentes, et celles-ci le sont plus encore que les lampes incandescentes.

#### 4. Éclairage

Pour mesurer l'intensité de l'éclairage qui frappe un objet, nous pouvons mesurer la quantité totale d'énergie rayonnante qui atteint une unité de surface à chaque seconde. Les unités employées pourraient fort bien être des microwatts par centimètre carré, s'il n'y avait deux inconvénients à cela. Premièrement, la quantité totale d'énergie engloberait également les rayonnements ultra-violets et infrarouges, qui ne servent pas à la vision; pour que les mesures d'énergie rayonnante soient significatives, elles doivent ne concerner que la partie visible du spectre. Deuxièmement, même à l'intérieur de la région visible, la vision humaine ne réagit pas de la même façon à toutes les longueurs d'onde de la lumière du milieu du spectre. À la lumière du jour normale, l'oeil réagit le mieux à la lumière dans la partie verte du spectre, à 555 nanomètre, tandis que ses réactions sont plus lentes devant des longueurs d'ondes plus courtes ou plus longues.

Ainsi, si on regardait des lumières de même intensité, mais de couleurs différentes, la lumière verte nous apparaîtrait beaucoup plus intense que la rouge et la bleue. La figure 6 présente l'aspect quantitatif de ce phénomène et fournit les coefficients d'efficacité relatifs de la luminescence spectrale en vision photopique.

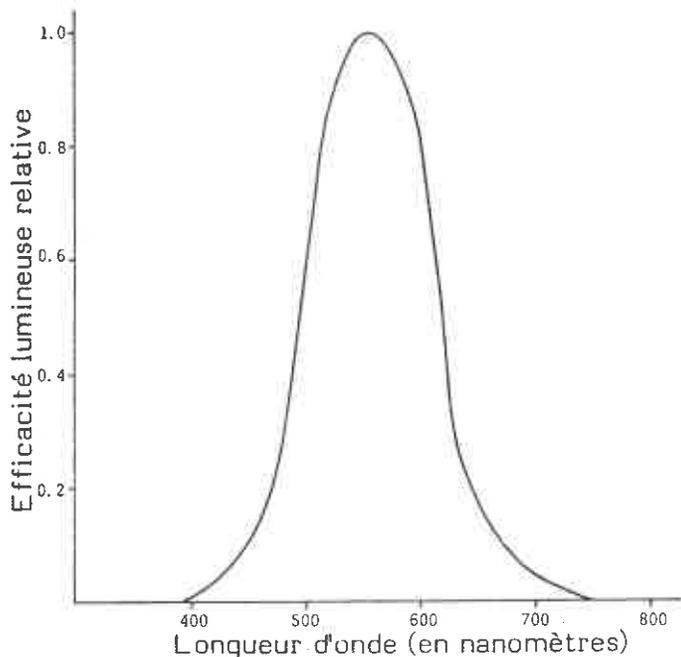


FIG. 6. Coefficients relatifs d'efficacité de la luminescence spectrale en vision photopique.

Nous allons maintenant passer à certaines définitions qui sembleront peut-être un peu abstraites et même arbitraires, mais il est essentiel de connaître le vocabulaire spécialisé, heureusement assez limité.

Le flux énergétique est l'énergie rayonnante émise ou reçue par une surface dans une unité de temps. Il se mesure en fractions de watt, le plus souvent en microwatts.

L'éclairage énergétique est le flux énergétique divisé par la portion de la surface en question. Il s'exprime en microwatts par centimètre carré.

Le flux et l'éclairage énergétiques ne représentent pas l'intensité perçue des éclairages. Cependant, il y a corrélation entre le flux énergétique et le flux lumineux, qui exprime la capacité du flux énergétique de

produire une sensation visuelle. On calcule le flux lumineux en multipliant le flux énergétique d'une longueur d'onde par le coefficient d'efficacité photopique relatif de cette longueur d'onde, en répétant le même processus pour chaque intervalle de longueur d'onde du spectre visible et en faisant la somme des résultats ainsi obtenus. L'unité du flux lumineux est le lumen. Le lumen se définit comme le flux lumineux frappant une plage d'un pied carré d'une sphère ayant un rayon d'un pied (ou frappant une plage d'un mètre carré d'une sphère ayant un rayon d'un mètre) en provenance d'une source ponctuelle dont l'intensité lumineuse uniforme est d'une candela. La candela (anciennement bougie) est égale à un soixantième de l'intensité lumineuse par centimètre carré d'un radiateur à corps noir à la température de solidification du platine, l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, étant égale au quotient du flux lumineux d'un cône infinitésimal renfermant la direction donnée par l'angle solide de ce même cône.

Comme vous l'avez peut-être remarqué, la définition du lumen revient à dire qu'il est le flux lumineux émis par une source d'une candela par unité d'angle solide (ou stéradian); par conséquent, une source composée d'une candela produit un flux lumineux total de 4 lumens.

Forts des renseignements précédents, nous pouvons définir l'éclairage d'une surface comme le quotient du flux lumineux qu'elle reçoit divisé par la mesure de cette surface. L'unité internationale d'éclairage est le lux, équivalent à un flux lumineux d'un lumen par mètre carré. Il est possible de se représenter cette unité comme l'éclairage de la surface d'une sphère d'un mètre de rayon, une source ponctuelle d'une candela se trouvant au centre de la sphère. Le pied-chandelle est une autre unité d'éclairage bien connue qui vaut un lumen par pied carré. De toute évidence, le pied-chandelle représente une plus grande surface d'éclairage que le lux; le rapport exact est le suivant:

$$1 \text{ pied-chandelle} = 10,76 \text{ lux}$$

Pour compléter cette série de définitions, nous allons parler de quelques autres termes dont il pourrait être question au cours d'entretiens avec des ingénieurs éclairagistes. La consommation spécifique d'une ampoule équivaut à sa consommation électrique exprimée en watts par lumen. Le coefficient d'efficacité de la luminescence est le rapport qui existe entre le flux lumineux exprimé en lumens et le flux énergétique exprimé en watts. On rencontrera peut-être à l'occasion le terme "langley"; il représente l'énergie lumineuse totale exprimée en calories - gramme par centimètre carré par minute. Toutefois, le système métrique s'imposant de plus en plus, l'utilisation du langley disparaîtra petit à petit, étant donné que le joule est l'unité de travail que l'on préfère à la calorie. Le lambert est une unité de luminance: il caractérise une surface qui émet parfaitement un flux total d'un lumen par centimètre carré.

##### 5. Sources lumineuses et facteurs psychologiques connexes

La section précédente a traité, de façon plus ou moins abstraite, de divers concepts relatifs à l'éclairage. Nous chercherons maintenant à concrétiser un peu plus ces concepts de l'éclairage et du lux et à déterminer aussi certaines considérations psychologiques dont il faut absolument tenir compte au moment de fixer les normes d'intensité lumineuse pour les musées.

L'étude de certains exemples plus ordinaires nous permet de mieux saisir la quantité d'éclairage que représente le lux. Ainsi, la lumière émise par une pleine lune est un peu inférieure à 0,5 lux. La lumière solaire directe combinée à la lumière céleste peut atteindre 10,000 lux; cependant, par une journée nuageuse, l'éclairage extérieur peut n'être que de 1,000 lux. Une simple ampoule de 100 watts répand environ 14 lux sur une surface à une distance de

10 pieds. Au bureau et au laboratoire de l'auteur même, l'éclairage variait entre 600 et 900 lux. Des membres de l'Illuminating Engineering Society, aux Etats-Unis, ont formulé des recommandations quant à l'éclairage qui convient pour certaines tâches; par exemple, 1,500 lux pour la correction d'épreuves, 500 lux pour la vérification courante d'objets manufacturés, jusqu'à 10,000 lux pour les cas très difficiles; enfin, 5,000 lux pour la couture. Ces chiffres servent uniquement à illustrer ce qu'est exactement un lux; personne ne devrait chercher à imposer de tels éclairages dans les aires d'exposition d'un musée. Les niveaux mentionnés concernent des situations où l'on doit se livrer à l'observation continue à une certaine distance et pendant de longues périodes de temps; il ne tiennent absolument pas compte des risques qu'ils présentent pour les collections.

De fait, l'oeil humain s'adapte facilement; les pupilles de l'oeil se dilatent pour percevoir les faibles intensités de lumière et se contractent devant une lumière trop intense. L'oeil ne s'adapte pas instantanément, comme on le constate en passant de l'extérieur, où la lumière est intense, à une pièce où l'éclairage est faible, ou vice-versa. Si l'éclairage d'un musée est dosé de façon à ce que les changements d'éclairage soient graduels, il est possible d'éclairer assez faiblement les objets exposés pour que les risques de détérioration des objets soient réduits au minimum sans pour autant que l'observateur soit incommodé ou fatigué.

Si l'on songe à établir des niveaux d'éclairage relativement faibles, il est nécessaire de tenir compte d'un facteur psychologique important: en diminuant l'intensité lumineuse tout en maintenant la même température de couleur, la lumière semblera beaucoup plus froide ou présentera un aspect bleuâtre. Au contraire, dans les musées et les galeries où la lumière naturelle est davantage utilisée, d'aucuns se plaindraient, lorsque la température de couleur est élevée, de ce que l'intensité lumineuse soit trop faible;

l'éclairage réel n'en serait pas moins le même. En "réchauffant" la lumière naturelle au moyen d'une lampe à incandescence, ou en maintenant l'éclairage au même niveau, on parvient à neutraliser cette sensation d'éclairage insuffisant ou "froid".

On peut conclure que, lorsque l'observateur quitte une pièce très éclairée pour pénétrer dans un endroit où l'éclairage est réduit, il ne suffit pas que la diminution d'éclairage soit graduelle; il importe également de réduire la température de couleur de la lumière pour que le rendu des couleurs soit acceptable.

## 6. Détérioration photochimique

Tous les objets exposés ne sont pas sensibles à la lumière; ainsi, les objets en pierre et en métal ne courent aucun risque. Cependant, certaines matières sont facilement endommagées par une longue exposition à la lumière, entre autres les tableaux (tout particulièrement les aquarelles), les plumes, le papier, les textiles, le cuir, etc. Parmi ces matières, toutes ne sont pas sensibles au même degré. Nous entendons par là que les liens entre les atomes de différentes molécules peuvent varier en force et que l'absorption de l'énergie lumineuse peut suffire pour briser ce lien dans une molécule et non pas dans une autre. D'autre part, des configurations différentes d'atomes absorbent l'énergie de longueurs d'onde différentes: une molécule peut fort bien absorber une lumière dont la longueur d'onde est de 560 nm, tandis qu'une autre ne le pourrait pas. Évidemment, un changement photochimique ne se produit que si la molécule absorbe un photon.

Toutes choses égales d'ailleurs, une lumière dont la longueur d'onde est courte, c'est-à-dire dont l'énergie est élevée, est plus nuisible qu'une lumière dont la longueur d'onde est plus longue. Comme nous l'avons déjà souligné dans un paragraphe précédent, l'énergie associée à un photon dépend uniquement de la longueur d'onde de la lumière. En diminuant l'intensité de

l'éclairage, on ne diminue en réalité que le nombre de photons qui touchent la surface par seconde, mais sans modifier la quantité d'énergie que chacun d'eux renferme. Par conséquent, réduire l'intensité lumineuse a pour effet d'amoiner la rapidité de la détérioration photochimique, mais sans l'empêcher complètement.

Étant donné que l'oeil est insensible à la lumière ultra-violette et que ce rayonnement, dont la longueur d'onde est très courte, est susceptible de causer une très grande détérioration, il est impérieux d'exclure ce genre d'éclairage des musées. Le rayonnement infrarouge n'améliore pas la qualité de la vision dans un musée, mais accroît la température de l'objet exposé. Le processus de détérioration est, par conséquent, accéléré; c'est pourquoi il faut éliminer tout éclairage infrarouge des aires d'exposition. Pour que le rendu des couleurs soit acceptable, il est nécessaire que l'éclairage contienne toutes les longueurs d'onde de la lumière visible; du point de vue de la conservation, il faut maintenir l'éclairage à un niveau assez faible. Cela n'empêchera pas la détérioration photochimique, mais la diminuera.

Les deux paragraphes suivants expliquent en détail les étapes de la détérioration photochimique. Ils entendent souligner la complexité de la détérioration photochimique en partant du caractère complexe de l'interaction des éclairages, du phénomène de l'humidité relative, des composantes atmosphériques, etc.

La première étape de cette détérioration se produit lorsqu'une molécule absorbe un photon et devient ainsi plus énergétique ou, en d'autres termes, devient une molécule excitée, dont la présence peut se traduire par une hausse de chaleur (la température de l'objet s'accroît) ou qui peut émettre de la lumière (on dit alors qu'elle est fluorescente) ou encore se dissocier (les liens entre les atomes peuvent se briser, donnant naissance à des molécules plus petites, aux caractéristiques modifiées); les atomes qui composent la molécule excitée peuvent se

réorganiser entre eux, engendrant une nouvelle particule; la molécule excitée peut aussi transférer l'énergie qu'elle a absorbée à une autre molécule, par exemple d'oxygène, la rendant plus énergétique qu'à l'habitude.

Les étapes conduisant à la détérioration des objets de musée peuvent être extrêmement complexes. Ainsi, une molécule de teinture peut capter un photon et en être activée. Cette molécule activée peut transférer son excès d'énergie à une molécule d'oxygène qui, dans cet état activé, pourrait réagir avec une molécule d'eau pour former du peroxyde d'hydrogène. A son tour, ce dernier peut oxyder la teinture et ainsi en altérer la composition; il pourrait aussi agir comme catalyseur avec la cellulose des fibres textiles et former de l'oxycellulose. Le taux de certaines de ces réactions augmente au fur et à mesure de la montée de la température. Dans de nombreux cas, il suffit d'éliminer l'humidité ou l'oxygène pour mettre un terme à l'altération photochimique des teintures et à la décomposition des fibres cellulosiques. Ce qui ne veut cependant pas dire qu'il faut amener l'humidité à des niveaux très bas: cela ne ferait que provoquer d'autres problèmes.

## 7. Niveaux d'éclairage recommandés

Diverses études scientifiques ont permis d'évaluer la détérioration possible par pied-chandelle; on s'est servi de ces études pour déterminer les niveaux d'éclairage acceptables. Les spécialistes ne sont pas entièrement d'accord. Toutefois, l'opinion générale actuelle est que l'éclairage maximum dans le cas d'objets particulièrement vulnérables comme les aquarelles et les tapisseries devrait être de 50 lux. Ce chiffre dépasse suffisamment l'éclairage minimum requis pour bien discerner les couleurs (entre 10 et 30 lux) pour que l'on puisse tolérer un léger déséquilibre de l'éclairage. Pour les autres objets exposés dans un musée ou une galerie, on peut admettre un maximum de 150 lux; dans les cas de certaines matières résistantes, comme le métal ou la pierre, 300 lux sont tolérables pour certains effets spéciaux.

L'effet de la lumière est cumulatif. Plusieurs pigments traditionnels présentent, dit-on, les symptômes d'une détérioration avancée après exposition, pendant un certain nombre d'heures correspondant à 80 millions de lux d'éclairage, à un éclairage fluorescent "de jour". Si l'on suppose qu'un musée est éclairé pendant 3,600 heures par année, un objet exposé pourra durer 70 ans si l'intensité est de 300 lux, 220 ans si l'intensité est de 100 lux et 440 ans si l'intensité est de 50 lux. Des matières particulièrement sensibles, comme les pigments des aquarelles, présentent déjà des signes de détérioration au bout d'un huitième de la période totale d'exposition; leur durée ne sera que de 55 ans même si l'intensité ne dépasse pas 50 lux.

Puisque l'effet de la lumière est cumulatif, il ne faut pas laisser exposés en permanence les objets particulièrement sensibles, mais les remiser au bout d'un certain temps. Des manuscrits enlumines sont souvent exposés à l'intérieur de vitrines recouvertes de tentures que l'observateur doit ouvrir. La durée d'exposition de ces objets est ainsi grandement réduite. Une méthode comparable exige du visiteur lui-même la mise en marche d'une minuterie qui allume la lumière et l'éteindra automatiquement au bout d'un intervalle suffisant pour examiner l'objet.

Dans une galerie à éclairage naturel, des tentures et des persiennes qui se ferment ou s'ouvrent automatiquement maintiendront un niveau constant d'éclairage.

## 8. Contrôle du rayonnement ultra-violet

En plus de contrôler les niveaux de la lumière visible sur les objets exposés dans un musée, il est nécessaire d'éliminer autant que possible le rayonnement ultra-violet invisible. N'oublions jamais que le pourcentage du rayonnement ultra-violet contenu dans la lumière solaire est plus élevé que celui de l'éclairage fluorescent. D'autre part, les lampes incandescentes n'en contiennent pratiquement pas. Si par malheur l'aire d'exposition est ouverte à la lumière du jour, il ne faut pas y exposer des objets sensibles à la lumière directe du soleil, pas plus que dans

es endroits où l'éclairage est très fort.

Le verre laisse passer les radiations ultraviolettes d'une intensité se situant entre 310 et 400 nm. Toutefois, on peut neutraliser une grande partie de ces radiations en ne laissant pénétrer la lumière que réfléchie par des murs blancs aux pigments blancs de bioxyde de titane et de zinc. Ces pigments absorbent très bien l'ultra-violet; un tel éclairage indirect ne contiendra que très peu de radiations ultraviolettes.

Si l'on désire assurer une meilleure protection, il faut utiliser des filtres en plastique à base de divers composés organiques capables d'absorber le rayonnement ultra-violet. Par exemple, le plexiglas UF-1 est pratiquement incolore et n'empêche pas un bon rendu des couleurs. Le plexiglas UF-3 est un peu plus teinté, mais absorbe davantage le rayonnement ultra-violet. On trouvera à la figure 7 les courbes spectrales de transmission de ces filtres. Les filtres UF-3 donnent à la lumière une teinte légèrement plus chaude; ils fournissent donc la légère compensation dont on a parfois besoin, particulièrement aux niveaux les plus faibles d'éclairage.

Il existe des vernis qui absorbent les radiations ultra-violettes; on peut théoriquement en enduire les panneaux de verre, mais il est extrêmement difficile de les appliquer de façon uniforme et d'éviter qu'ils ne se détériorent. Il est préférable d'utiliser les filtres en feuilles. Les lampes fluorescentes revêtues de vernis filtrent les radiations ultra-violettes, mais là encore, l'usage d'un plastique en feuilles, ou plutôt en tubes que l'on peut glisser sur la lampe fluorescente au moment de sa mise en place, est plus commode. Les prix courants de ces tubes, vendus par des concessionnaires canadiens comme la Commercial Plastic and Supply Company, 1127 rue Newmarket, Ottawa (Ontario) K1B 4N4 varient entre 86c et \$1.05 le pied dans le cas de tubes de filtrage pour rayonnement ultra-violet de la marque Comco, Rayshield 403.

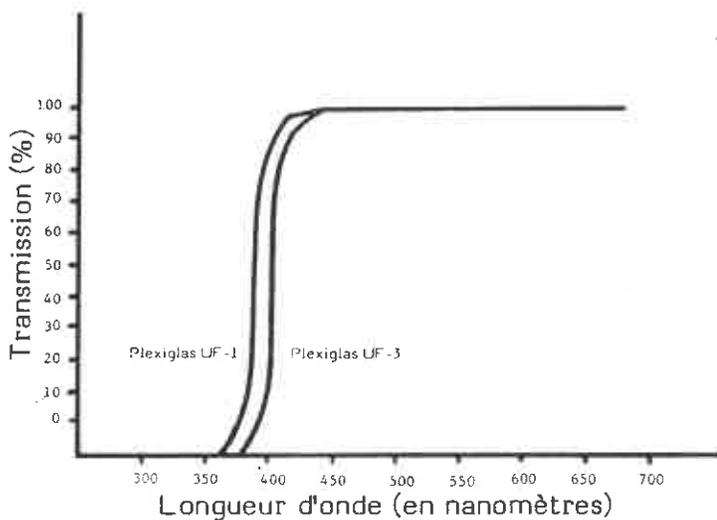


FIGURE 7. Courbes spectrales de transmission des plexiglas UF-1 et UF-3.

Même avec des filtres, un certain bon sens est essentiel au moment de la conception des installations. Il ne faut pas mettre dans des vitrines d'exposition des lampes à incandescence dont les radiations provoqueraient des températures locales trop élevées. Si des réflecteurs sont nécessaires, il faut les installer à l'extérieur des vitrines. Un éclairage fluorescent suffisamment bien filtré est acceptable à l'intérieur d'une vitrine à condition de laisser le ballast à l'extérieur, ce qui évitera de surchauffer les objets exposés.

## 9. Appareils de mesure

Si l'on veut maintenir les niveaux d'éclairage à un niveau acceptable, tout particulièrement lorsqu'on change la disposition du système d'éclairage de temps à autre, il faut disposer d'appareils pour la mesure des intensités lumineuses. Beaucoup de ces appareils sont beaucoup trop coûteux pour le musée moyen; ils sont plus à leur place dans un laboratoire scientifique. L'Institut canadien de conservation

---

possède un spectroradiomètre qui sert à mesurer, en unités absolues, la répartition de l'énergie spectrale d'une source lumineuse dont le rayonnement est compris entre 300 et 700 nm. Si vous avez besoin de ce genre de renseignement, il vaut probablement mieux demander à l'Institut de se charger du travail. L'Institut canadien de conservation dispose également de photomètres de précision, dont le prix est d'environ \$1,200 l'unité.

Les conservateurs de musées se contenteront sans doute d'indicateurs d'intensité lumineuse, par exemple un bon posemètre de photographie qui, calibré en pieds-chandelles, suffira à mesurer l'intensité lumineuse au niveau des objets exposés. Pour qu'un tel posemètre soit utile, il doit déterminer de façon précise des éclairagements aussi bas que 50 lux, c'est-à-dire cinq pieds-chandelles. Le posemètre spectral calibré en candelas et en pieds-chandelles modèle LD-300 fabriqué par Photo Research, succursale de la compagnie Kollmorgan Corporation à Burbank (Californie), dont le seul concessionnaire canadien est Alex L. Clark, Limitée, 30 avenue Dorchester, Toronto (Ontario), coûte présentement \$110.95 sans blocage d'indicateur, \$130.95 avec blocage d'indicateur. Il est commode de bloquer l'indicateur une fois la mesure prise et de pouvoir lire les résultats plus tard. L'Institut canadien de conservation n'a cependant pas effectué de tests sur cet appareil.

Quand il s'agit de ce genre de posemètre, il arrive que l'échelle de 0 à 20 pieds-chandelles soit comprimée dans la partie inférieure; il faut alors procéder avec grand soin pour lire les résultats.

---

Notes et renvois

1. En pratique, la lumière qui traverse l'atmosphère a les mêmes caractéristiques que celle qui voyage à travers le vide. Quand il s'agit d'une matière plus dense, par exemple le verre ou une particule de pigment, la vitesse varie selon les longueurs d'onde.
2. L'échelle de température Kelvin est identique à l'échelle Celsius, mieux connue, augmentée de 273.15; autrement dit, les degrés Kelvin égalent les degrés Celsius plus 273.15.
3. Les lampes fluorescentes ont des pointes de haute énergie semblables dans la région de l'ultra-violet.
4. La vision photopique est la vision normale à la lumière du jour; elle se fait par l'intermédiaire des cônes de la rétine; l'efficacité maximum se situe alors à 555 nm. Pour la vision de nuit, qui fait appel aux bâtonnets de la rétine, l'efficacité maximum se situe à 507 nm; c'est la vision scotopique.
5. R.L. Feller: "Contrôle des effets détériorants de la lumière sur les objets de musées", Museum (Paris), xvii, 2 (1964), pages 57 à 70.

---

M. K.J. Macleod a obtenu son doctorat en chimie physique de l'université de Toronto. Pendant 14 ans, il a fait de la recherche pour la société Aluminum Company of Canada, Limited, avant d'entrer à l'Institut canadien de conservation en 1973. Il est chef de la section de Recherche sur le milieu et la détérioration.