

# Prévention des risques professionnels

## Risques liés au rayonnement optique et à l'éclairage

par **Serge SALSI**

*Institut national de recherche et de sécurité INRS, Département « Ingénierie des équipements de travail » (IET)*

et **Annick BARLIER-SALSI**

*INRS, Département IET/RNPL*

<b>1. Rayonnements optiques</b> .....	SE 3 880 – 2
1.1 Définitions .....	– 2
1.2 Effets physiologiques .....	– 2
1.2.1 Effets du rayonnement ultraviolet sur la peau .....	– 2
1.2.2 Effets du rayonnement ultraviolet sur l'œil .....	– 2
1.2.3 Effets du rayonnement visible .....	– 3
1.2.4 Effets du rayonnement infrarouge sur la peau .....	– 3
1.2.5 Effets du rayonnement infrarouge sur l'œil .....	– 3
1.3 Valeurs maximales autorisées.....	– 3
1.4 Méthode d'évaluation des risques .....	– 5
1.5 Méthode et appareil de mesures.....	– 5
1.6 Moyens de protection collectifs ou individuels .....	– 6
<b>2. Éclairage</b> .....	– 7
2.1 Terminologie .....	– 7
2.2 Grandeurs .....	– 7
2.3 Caractéristiques d'un bon éclairage.....	– 7
2.4 Éclairements recommandés, prescriptions réglementaires .....	– 8
2.4.1 Définitions .....	– 8
2.4.2 Éclairements recommandés .....	– 8
2.4.3 Prescriptions réglementaires .....	– 8
2.5 Éblouissement produit par les luminaires d'une installation d'éclairage .....	– 8
2.5.1 Recommandations.....	– 9
2.5.2 Prescriptions réglementaires .....	– 10
2.6 Contrastes de luminance .....	– 10
2.7 Caractéristiques spectrales des sources lumineuses .....	– 10
2.7.1 Température de couleur proximale.....	– 10
2.7.2 Indice de rendu des couleurs (IRC) .....	– 10
2.8 Méthodes et appareils de mesure.....	– 10
2.9 Cas particulier des écrans de visualisation .....	– 10
<b>Références bibliographiques</b> .....	– 11

**D**ans ce dossier sont plus particulièrement abordées les sources pouvant avoir une incidence sur l'œil soit en le lésant soit en le fatiguant : les rayonnements optiques et l'éclairage.

# 1. Rayonnements optiques

## 1.1 Définitions

Les rayonnements optiques sont des rayonnements électromagnétiques de longueurs d'onde comprises entre les rayonnements X et les ondes radioélectriques. Ils comprennent les **rayonnements ultraviolet, visible et infrarouge**. La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) [1] a subdivisé le spectre des rayonnements optiques en trois domaines de longueurs d'onde ( $\lambda$ ) ayant une signification biologique spécifique (tableau 1).

Domaine spectral		Longueurs d'onde $\lambda$ (nm)
Ultraviolet	UV <sub>c</sub>	100 à 280
	UV <sub>b</sub>	280 à 315
	UV <sub>a</sub>	315 à 400
Visible		360 ou 400 à 760 ou 830 (1)
Infrarouge	IR <sub>a</sub>	780 à 1 400
	IR <sub>b</sub>	1 400 à 3 000
	IR <sub>c</sub>	3 000 à 10 <sup>6</sup>

(1) Les limites du rayonnement visible dépendent du flux énergétique qui atteint la rétine et de la sensibilité de l'observateur, d'après [1].

■ Le **rayonnement ultraviolet** de longueur d'onde inférieure à 180 nm est totalement absorbé par l'air. Dans la détermination des risques associés à ce type de rayonnement, il convient donc de limiter l'UV<sub>c</sub> au domaine de longueurs d'onde comprises entre 180 et 280 nm.

■ Les rayonnements optiques sont très fréquents dans l'environnement physique de l'homme au travail. Ils sont souvent observés sous forme d'**énergie parasite** accompagnant généralement une **émission de lumière** (lampes à incandescence, à halogène, à arc, à décharge, ...) émise par des produits en combustion ou des corps solides chauffés (flamme de chalumeau, métaux fondus ou incandescents, verre en fusion, ...), provenant d'un arc électrique (soudage à l'arc, gougeage\* arc-air), associée à des procédés de soudage ou de découpage particuliers (lasers, plasmas).

**Nota :** (\*) **Gougeage** : opération destinée à pratiquer un évidement à l'aide d'une gouge (ciseau en forme de gouttière).

■ L'ultraviolet et l'infrarouge sont aussi produits et utilisés dans l'industrie et la recherche pour l'énergie qu'ils transportent. **L'énergie thermique de l'infrarouge** est exploitée dans divers domaines classiques (séchage des peintures, chauffage, ...). L'ultraviolet a, par ailleurs, des effets spécifiques intéressants (effet photochimique et germicide, fluorescence) dont il est tiré parti dans de nombreuses applications, à savoir : la polymérisation en surface de colles, de vernis et d'encre d'imprimerie, la production de l'insecticide HCN par chloration photochimique du benzène, la fabrication de paraffines chlorées, le tirage de plan, la stérilisation dans l'industrie alimentaire, la désinfection des locaux hospitaliers, le contrôle magnétoscopique des pièces forgées, l'analyse biochimique par fluorescence...

Le nombre de personnes qui, durant leur travail quotidien, sont exposées plus ou moins directement à ces rayonnements peut être estimé à plusieurs centaines de milliers en France.

## 1.2 Effets physiologiques

Les effets des rayonnements optiques se développent à partir de deux points d'impact différents, l'**œil** et la **peau**. Les conséquences

pathologiques de l'exposition à ces rayonnements sont aiguës ou chroniques et sont toujours directement liées à la pénétration et à l'absorption de ces rayonnements au niveau des différentes structures de l'œil ou de la peau.

### 1.2.1 Effets du rayonnement ultraviolet sur la peau

#### ■ Réactions cutanées aiguës

Les effets directs immédiats se manifestent par le classique *coup de soleil* qui va du simple érythème, apparaissant 6 à 12 h après l'exposition en atteignant son maximum environ 20 h après l'exposition, jusqu'à des réponses lésionnelles plus importantes comportant douleurs, œdèmes et apparition de phlyctènes [véritables brûlures avec des signes inflammatoires locaux et éventuellement des symptômes généraux plus ou moins alarmants (fièvre, frissons, nausées...)] dont l'intensité est liée à l'étendue des lésions.

Les lésions évoluent alors selon deux processus complémentaires. D'une part, la peau se desquame, d'autre part la couche épidermique lésée se restaure. La prolongation et la répétition des lésions actiniques cutanées entraînent des modifications pathologiques de la peau qui peuvent se résumer globalement dans une accélération de son vieillissement (peau sèche, rugueuse et ridée). Cet aspect de la peau correspond à une élastose « sénile » irréversible qui pourra être à l'origine du développement de lésions précancéreuses ou éventuellement d'authentiques cancers cutanés.

#### ■ Potentialité cancérogène

Le rayonnement ultraviolet occasionne des lésions du matériel génétique avec possibilité de mutation des cellules lésées lors de la réparation des photolésions ; ainsi des cellules normales peuvent devenir cancéreuses.

Les **cancers cutanés** sont, soit des carcinomes baso ou spinocellulaires, soit des cancers mélaniques (*mélanomes*). Ces derniers sont moins fréquents mais d'une grande malignité. Les premiers types de cancers cités sont la conséquence directe de l'exposition au rayonnement ultraviolet (rayonnement solaire par exemple). En revanche, pour les seconds, bien que l'influence de l'exposition au rayonnement ultraviolet soit certaine, la relation dose-effet n'a pas été établie de façon précise. Si le rayonnement solaire et, en particulier, l'UV<sub>b</sub> sont reconnus comme les facteurs étiologiques essentiels dans la genèse des carcinomes baso et spinocellulaires (*épithéliomas*), beaucoup d'éléments convergent pour attribuer à l'UV<sub>a</sub> un rôle non négligeable dans la carcinogenèse cutanée. Bien qu'il soit beaucoup moins actif que l'UV<sub>b</sub>, l'UV<sub>a</sub> peut aussi provoquer des tumeurs. De plus, il est soupçonné d'accroître les effets cancérogènes de l'UV<sub>b</sub>. En conclusion, la responsabilité des agressions cutanées prolongées par le rayonnement ultraviolet est très importante au regard des autres facteurs cancérogènes connus.

### 1.2.2 Effets du rayonnement ultraviolet sur l'œil

Les conséquences pathologiques d'une exposition au rayonnement ultraviolet sont directement liées à la pénétration et à l'absorption de ce rayonnement par les milieux oculaires.

■ La **pénétration du rayonnement ultraviolet dans l'œil** est variable avec la longueur d'onde. Ainsi :

- les ultraviolets *courts* (UV<sub>c</sub>) sont entièrement absorbés par la cornée et la conjonctive ; ils sont très actifs mais peu pénétrants ;
- les ultraviolets *moyens* (UV<sub>b</sub>) pénètrent plus profondément, la moitié environ de l'énergie est arrêtée par les milieux antérieurs de l'œil, le reste atteint l'humeur aqueuse et le cristallin ; le maximum d'absorption à ce niveau se situe entre 293 et 313 nm ;
- les ultraviolets *proches* (UV<sub>a</sub>) : selon leur longueur d'onde, 30 à 50 % d'entre eux atteignent le cristallin.

### ■ Lésions cornéennes et conjonctivales

La photokératite et la photoconjonctivite s'associent, en pathologie professionnelle, sous le vocable de « coup d'arc ». Toute exposition au rayonnement ultraviolet (en particulier au rayonnement UV<sub>C</sub> et UV<sub>B</sub>) est susceptible de provoquer ces lésions. Leur symptomatologie est bien connue : impression de « sable » dans les yeux, photophobie, larmolements, œil « rouge ». L'invalidité visuelle peut durer de six à vingt-quatre heures.

### ■ Lésion du cristallin

L'exposition répétée à de fortes doses de rayonnement ultraviolet est susceptible d'entraîner l'opacification du cristallin et une cataracte. Les longueurs d'onde les plus longues semblent spécialement en cause (UV<sub>B</sub> et UV<sub>A</sub>) et, tout particulièrement, les longueurs d'onde entre 293 et 313 nm.

## 1.2.3 Effets du rayonnement visible

Parmi les organes du corps humain, seul l'œil est affecté par le domaine visible du spectre. Ce dernier traverse les milieux oculaires (cornée, humeur aqueuse, cristallin, corps vitré) avant d'atteindre la rétine, puis d'en franchir les couches nerveuses. Mais, seule une partie de ce rayonnement est absorbée par les pigments visuels des cônes et des bâtonnets afin d'engendrer la réponse visuelle. Le reste de l'énergie ira dans l'épithélium pigmentaire rétinien et dans la choroïde. Or, l'épithélium pigmentaire rétinien est la couche absorbante optiquement la plus dense, en raison de sa haute concentration en granules de mélanine ; c'est donc au niveau de cette couche que se situera l'élévation thermique la plus forte.

Au rayonnement visible sont associés trois types de lésions irréversibles :

- les **lésions mécaniques** sont la conséquence de hauts niveaux d'exposition appliqués pendant des durées très courtes (cas des lasers) ;
- les **lésions thermiques** surviennent lorsque l'absorption du rayonnement visible par les tissus provoque une élévation de leur température de l'ordre de 10 à 20 °C. Ces lésions se produisent lors d'expositions accidentelles à des lampes à arc ou au rayonnement solaire pendant des durées variant de 0,1 à 100 s ;
- les **lésions photochimiques** surviennent lorsque le rayonnement visible, absorbé par les pigments visuels, entraîne une dégénérescence des cônes sensibles au bleu. Ces lésions, qui peuvent aller jusqu'à la destruction des cônes, sont la conséquence d'une exposition chronique au domaine bleu du spectre visible, à des niveaux plus faibles que ceux qui produisent des lésions thermiques et mécaniques. Ces lésions sont très dépendantes de la longueur d'onde. En effet, plus la longueur d'onde est courte, plus le risque est élevé.

## 1.2.4 Effets du rayonnement infrarouge sur la peau

Les principaux effets sur la peau du rayonnement infrarouge de courte longueur d'onde (inférieure à 1,5 μm) sont des brûlures aiguës et une vasodilatation des capillaires. Les effets d'un rayonnement infrarouge intense sur la peau sont ceux d'une brûlure ordinaire. Une exposition répétée à des doses trop faibles pour provoquer des brûlures peut produire une inflammation chronique de la peau. De plus, une exposition répétée au rayonnement infrarouge pourrait accélérer la formation et augmenter l'incidence de cancers cutanés. En effet, l'infrarouge pourrait agir en synergie avec le rayonnement ultraviolet dans la dénaturation de l'ADN cellulaire, que l'exposition à ces rayonnements soit simultanée ou différée. L'infrarouge semblerait donc être un agent non négligeable dans la photocarcinogénèse.

## 1.2.5 Effets du rayonnement infrarouge sur l'œil

Une exposition très intense au rayonnement infrarouge de longueur d'onde supérieure à 1,5 μm produit un effet thermique sur la

cornée ; elle affectera les structures internes de l'œil (iris, cristallin, rétine) s'il s'agit de longueurs d'onde plus courtes. L'association étroite entre la sensation de douleur et l'absorption du rayonnement infrarouge empêche normalement l'apparition d'effets aigus graves autres que ceux décrits ci-dessus. La production de dommages chroniques au cristallin à la suite d'une exposition répétée au rayonnement infrarouge de courte longueur d'onde (inférieure à 1,5 μm) est bien connue. En effet, l'expression « cataracte des verriers » est devenue un terme générique pour les opacités lenticulaires. La transmission du rayonnement infrarouge de courtes longueurs d'onde, à travers les structures de l'œil, fait que la rétine peut subir une lésion thermique (cf § 1.3).

## 1.3 Valeurs maximales autorisées

Actuellement, il n'existe pas de valeurs maximales autorisées admises universellement. En particulier, en France, aucune réglementation relative aux effets nocifs des rayonnements optiques n'est en vigueur. Toutefois, une directive européenne (2006/25/CE), relative à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels, a été publiée au journal officiel de l'Union européenne le 27 avril 2006 [23]. Cette directive doit entrer en application, après transposition en droit français, au plus tard le 27 avril 2010. Elle concerne les rayonnements optiques incohérents ultraviolet, visible, infrarouge et les rayonnements optiques cohérents (rayonnements lasers). La directive prévoit l'évaluation des risques au poste de travail, l'obligation d'éviter ou de réduire les risques par des mesures spécifiques, d'informer et de former les travailleurs exposés et de les soumettre à une surveillance de leur santé. Les limites d'exposition données dans la directive sont celles proposées par l'International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) [2] [3]. Les limites d'exposition aux rayonnements optiques cohérents sont résumées dans le tableau 2.

Ces **limites d'exposition** correspondent aux conditions dans lesquelles il est estimé que la quasi-totalité des travailleurs peut être soumise à ce type de rayonnement, jour après jour, sans subir d'effets nocifs, décelables ou non, sur la santé. Elles peuvent servir de guide pour le contrôle d'exposition aux rayonnements optiques, mais elles ne doivent pas être considérées comme un partage précis des niveaux de sécurité et de situation dangereuse.

Ces **limites d'exposition** s'appliquent à l'exposition professionnelle au cours d'une journée de travail de huit heures. Elles nécessitent la connaissance de l'**éclairement énergétique spectrique** ( $E_\lambda$ ) produit par la source au niveau des yeux, ou de la partie du corps exposée, ainsi que de la **luminance énergétique spectrique** ( $L_\lambda$ ) de la source de rayonnement. Ces deux grandeurs sont définies dans la note en bas du tableau 3.

Ces limites d'exposition ne tiennent pas compte des effets combinés potentiels des rayonnements UV<sub>B</sub>, UV<sub>A</sub> et infrarouge sur la photocarcinogénèse cutanée et elles ne s'appliquent pas à l'exposition :

- au rayonnement émis par les lasers ;
- au rayonnement ultraviolet des sujets particulièrement photosensibles ou exposés concomitamment à des agents photosensibilisants ;
- au rayonnement ultraviolet des personnes *aphaques* (personnes ayant subi l'ablation du cristallin par extraction ou par résorption). En revanche, pour ces personnes, il peut exister un risque accru dans le domaine visible du spectre (risque de la lumière « bleue »). Il est donc nécessaire, pour la détermination du risque provoqué par l'exposition chronique à la lumière bleue, d'utiliser la fonction  $A_\lambda$  dite fonction aphaïque au lieu de la fonction  $B_\lambda$  (tableau 4).

**Tableau 2 – Méthode de calcul des expositions et limites d'exposition aux rayonnements optiques**

Domaine spectral	Effets du rayonnement	Grandeurs énergétiques calculées (cf. tableau 3)	Limites d'exposition (EL)
UV 180 à 400 nm	<b>Peau :</b> érythème, effets cancérogènes <b>Yeux :</b> kératites, conjonctivites	$H_{UV\text{Reff}} = \sum_{180}^{400} E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda t$	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$
UV <sub>a</sub> 315 à 400 nm	<b>Yeux :</b> cataractes	$H_{UV_a} = \sum_{315}^{400} E_{\lambda} \Delta\lambda t$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$
Visible 300 à 700 nm	<b>Yeux :</b> lésions rétinienne par effet photochimique	<p>Sources étendues : <math>\alpha \geq 11 \text{ mrad}</math></p> $L_{VI\text{Seff}} t = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} B_{\lambda} \Delta\lambda t \text{ pour } t \leq 10^4 \text{ s}$ $L_{VI\text{Seff}} = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} B_{\lambda} \Delta\lambda \text{ pour } t > 10^4 \text{ s}$ <p>Sources ponctuelles : <math>\alpha \leq 11 \text{ mrad}</math></p> $H_{VI\text{Seff}} = \sum_{300}^{700} E_{\lambda} B_{\lambda} \Delta\lambda t \text{ pour } t \leq 10^4 \text{ s}$ $E_{VI\text{Seff}} = \sum_{300}^{700} E_{\lambda} B_{\lambda} \Delta\lambda \text{ pour } t > 10^4 \text{ s}$	$10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$  $10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$  $10^2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  $10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
visible + IR <sub>a</sub> 380 à 1 400 nm	<b>Yeux :</b> lésions rétinienne par effet thermique	$L_{VISIR_a\text{eff}} = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} R_{\lambda} \Delta\lambda \text{ pour } 10^{-5} \leq t \leq 10^4 \text{ s}$ $1,7 \text{ mrad} \leq \alpha \leq 0,1 \text{ rad}$	$\left[ \frac{5 \cdot 10^4}{\alpha \cdot t^{1/4}} \right] \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ (1)
IR <sub>a</sub> 780 à 1 400 nm	<b>Yeux :</b> lésions rétinienne par effet thermique (IR)	<p>Pour des sources émettant dans l'IR<sub>a</sub> en l'absence d'un fort stimulus visuel (luminance lumineuse de la source <math>&lt; 10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}</math>)</p> $L_{IR_a} = \sum_{780}^{1400} L_{\lambda} R_{\lambda} \Delta\lambda \text{ pour } t > 10 \text{ s}$ $11 \text{ mrad} \leq \alpha \leq 0,1 \text{ rad}$	$\left[ \frac{6 \cdot 10^3}{\alpha} \right] \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ (2)
IR <sub>a</sub> + IR <sub>b</sub> 780 à 3 000 nm	<b>Yeux :</b> lésion de la cornée, cataractes	$E_{IR_{ab}} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \Delta\lambda$	$1,8 \cdot 10^4 \cdot t^{-3/4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ pour $t < 10^3 \text{ s}$ $10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ pour $t \geq 10^3 \text{ s}$
Visible + IR <sub>a</sub> + IR <sub>b</sub> 380 à 3 000 nm	<b>Peau :</b> brûlure	$H_{VISIR_{ab}} = \sum_{380}^{3000} E_{\lambda} \Delta\lambda t \text{ pour } t < 10 \text{ s}$	$2\,000 t^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$

- (1) Si  $t < 10^{-5}$  ou  $t > 10 \text{ s}$ , EL est calculée en prenant respectivement  $t = 10^{-5} \text{ s}$  ou  $t = 10 \text{ s}$ . Si  $\alpha < 0,0017 \text{ rad}$  ou  $\alpha > 0,1 \text{ rad}$ , EL est calculée avec dans l'ordre  $\alpha = 0,0017 \text{ rad}$  ou  $\alpha = 0,1 \text{ rad}$ .
- (2) Si  $\alpha < 0,011 \text{ rad}$  ou  $\alpha > 0,1 \text{ rad}$ , EL est calculée en prenant respectivement  $\alpha = 0,011 \text{ rad}$  ou  $\alpha = 0,1 \text{ rad}$ .

Tableau 3 – Grandeurs utilisées dans le tableau 2

Symbole	Unité	Nom de la grandeur
$H_{UVReff}$	$J \cdot m^{-2}$	Exposition énergétique efficace dans le domaine spectral compris entre 180 et 400 nm
$H_{UVa}$	$J \cdot m^{-2}$	Exposition énergétique dans le domaine spectral compris entre 315 et 400 nm
$L_{VISeff} t$	$J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	Exposition énergétique efficace dans le domaine spectral compris entre 300 et 700 nm
$H_{VISeff}$	$J \cdot m^{-2}$	Exposition énergétique efficace dans le domaine spectral compris entre 300 et 700 nm
$L_{VISeff}$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	Luminance énergétique efficace dans le domaine spectral compris entre 300 et 700 nm
$E_{VISeff}$	$W \cdot m^{-2}$	Éclairement énergétique efficace dans le domaine spectral compris entre 300 et 700 nm
$L_{VISIR,eff}$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	Luminance énergétique efficace dans le domaine spectral compris entre 380 et 1 400 nm
$L_{IRa}$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	Luminance énergétique dans le domaine spectral compris entre 780 et 1 400 nm
$E_{IRab}$	$W \cdot m^{-2}$	Éclairement énergétique dans le domaine spectral compris entre 780 et 3 000 nm
$H_{VISIR,ab}$	$J \cdot m^{-2}$	Exposition énergétique dans le domaine spectral compris entre 380 et 3 000 nm
$E_{\lambda} (1)$	$W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$	Éclairement énergétique spectrique
$L_{\lambda} (2)$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$	Luminance énergétique spectrique
$S_{\lambda}, B_{\lambda}, R_{\lambda}$	–	Efficacité relative spectrale
$\Delta\lambda$	nm	Largeur de bande
$t$	s	Durée d'exposition journalière
$\alpha$	rad	Angle sous-tendu par la source (plus grande dimension de la source pouvant être vue)

(1) Éclairement énergétique spectrique (en un point d'une surface)  $E_{\lambda}$  : flux surfacique spectrique reçu par une surface.

(2) Luminance énergétique spectrique (dans une direction donnée, en un point donné d'une source)  $L_{\lambda}$  : grandeur définie par la relation :

$$L_{\lambda} = \frac{d\theta_{\lambda}}{dA \cos \theta d\Omega d\lambda}$$

avec  $d\theta_{\lambda}$  flux énergétique spectrique transmis par un faisceau élémentaire passant par le point donné et se propageant dans l'angle solide  $d\Omega$  contenant la direction donnée,  
 $dA$  aire d'une section de ce faisceau au point donné,  
 $\theta$  angle formé par la normale à cette section et la direction du faisceau.

Les sujets à la peau préalablement pigmentée peuvent être soumis à une exposition supérieure à la valeur limite d'exposition de la peau au rayonnement ultraviolet sans qu'un érythème se manifeste. Cependant, ce conditionnement n'est pas susceptible de protéger ces personnes du cancer de la peau.

## 1.4 Méthode d'évaluation des risques

L'évaluation des risques associés aux rayonnements optiques nécessite la détermination de différents niveaux (d'exposition, d'éclairement énergétique, ...) dans les différents domaines spectraux. La méthode de calcul de ces différents niveaux figure dans le tableau 2. Selon le domaine spectral considéré, il s'agit (cf. tableaux 2 et 3) des niveaux :

- d'exposition énergétique efficace ( $H_{UVbceff}$ ,  $H_{UVReff}$ ,  $L_{VISeff} t$ ,  $H_{VISeff}$ ) ;
- d'éclairement ou de luminance énergétique efficace ( $E_{VISeff}$ ,  $L_{VISeff}$ ) ;
- d'éclairement énergétique ( $E_{IR,ab}$ ).

Les niveaux exprimés en terme d'exposition tiennent compte de la durée journalière d'exposition ; ceux exprimés en termes d'éclairement ou de luminance énergétique efficace prennent en compte l'efficacité relative spectrale [ $S_{\lambda}$ ,  $R_{\lambda}$ ,  $B_{\lambda}$  et  $A_{\lambda}$  (pour les personnes aphaques), cf. tableaux 4 et 5] du rayonnement considéré.

**Nota** : Un outil informatique appelé « CatRayon » [4] [5] et [6] permet d'évaluer les risques associés aux sources de rayonnement optiques :

- la version 1 [4] [5] permet d'évaluer les risques présentés par une source, contenue dans son catalogue, à un poste de travail dans différentes configurations d'exposition définies par l'utilisateur (position de la source, distance et durée d'exposition journalière). Celui-ci regroupe les caractéristiques générales et techniques d'environ 400 sources de rayonnement optique tels que lampes, fours, arcs de soudage, etc ;

- la version 3 [6] prend en compte plusieurs sources, plusieurs postes de travail et plus largement l'activité des personnes dans une zone de travail. Le catalogue de sources est complété par un catalogue d'une centaine de filtres de protection. Cette version permet, en outre, d'évaluer l'exposition à des postes de travail fixes ou mobiles, de réaliser des cartographies des risques dans des zones de travail et de sélectionner des filtres de protection à disposer devant les sources et les opérateurs.

## 1.5 Méthode et appareil de mesures

L'éclairement énergétique spectrique, produit par les sources de rayonnement, doit être relevé **entre 180 et 3 000 nm**. Ces relevés peuvent être réalisés à l'aide :

- d'un **spectroradiomètre** à balayage ou à barrette ;
- d'un **radiomètre** dont la sensibilité spectrale correspond aux fonctions de pondérations  $S_{\lambda}$ ,  $B_{\lambda}$ ,  $R_{\lambda}$ , ou alors est constante selon les domaines spectraux concernés.

La luminance énergétique spectrique doit être relevée **entre 400 et 1 400 nm** à l'aide du spectroradiomètre équipé d'un télescope.

**Tableau 4 – Fonctions de pondération ( $A_\lambda$ ,  $B_\lambda$  et  $R_\lambda$ ) pour l'évaluation des risques de lésions rétiniennes associés au rayonnement visible**

Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Risque personnes aphaques $A_\lambda$ (1)	Risque lumière bleue $B_\lambda$	Risque brûlure rétinienne $R_\lambda$	Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Risque personnes aphaques $A_\lambda$ (1)	Risque lumière bleue $B_\lambda$	Risque brûlure rétinienne $R_\lambda$
300	6,000	0,010 0	–	465	0,700 0	0,700	7,000
305	6,000	0,010 0	–	470	0,620 0	0,620	6,200
310	6,000	0,010 0	–	475	0,550 0	0,550	5,500
315	6,000	0,010 0	–	480	0,450 0	0,450	4,500
320	6,000	0,010 0	–	485	0,400 0	0,400	4,000
325	6,000	0,010 0	–	490	0,220 0	0,220	2,200
330	6,000	0,010 0	–	495	0,160 0	0,160	1,600
335	6,000	0,010 0	–	500	0,100 0	0,100	1,000
340	5,880	0,010 0	–	505	0,079 0	0,079	1,000
345	5,710	0,010 0	–	510	0,063 0	0,063	1,000
350	5,460	0,010 0	–	515	0,050 0	0,050	1,000
355	5,220	0,010 0	–	520	0,040 0	0,040	1,000
360	4,620	0,010 0	–	525	0,032 0	0,032	1,000
365	4,290	0,010 0	–	530	0,025 0	0,025	1,000
370	3,750	0,010 0	–	535	0,020 0	0,020	1,000
375	3,560	0,010 0	–	540	0,016 0	0,016	1,000
380	3,190	0,010 0	0,100	545	0,013 0	0,013	1,000
385	2,310	0,012 5	0,125	550	0,010 0	0,010	1,000
390	1,880	0,025 0	0,250	555	0,008 0	0,008	1,000
395	1,580	0,050 0	0,500	560	0,006 0	0,006	1,000
400	1,430	0,100 0	1,000	565	0,005 0	0,005	1,000
405	1,300	0,200 0	2,000	570	0,004 0	0,004	1,000
410	1,250	0,400 0	4,000	575	0,003 0	0,003	1,000
415	1,200	0,800 0	8,000	580	0,002 0	0,002	1,000
420	1,150	0,900 0	9,000	585	0,002 0	0,002	1,000
425	1,110	0,950 0	9,500	590	0,001 0	0,001	1,000
430	1,070	0,980 0	9,800	595	0,001 0	0,001	1,000
435	1,030	1,000 0	10,000	600	0,001 0	0,001	1,000
440	1,000	1,000 0	10,000	600 - 700	0,001 0	0,001	1,000
445	0,970	0,970 0	9,700	700 - 1 050	–	–	$10^{\left[\frac{700-\lambda}{500}\right]}$
450	0,940	0,940 0	9,400	1 050 - 1 150	–	–	0,200 0
455	0,900	0,900 0	9,000	1 150 - 1 200	–	–	$0,2 \cdot 10^{[0,02(1\ 150 - \lambda)]}$
460	0,800	0,800 0	8,000	1 200 - 1 400	–	–	0,020 0

(1) Personnes ayant subi l'ablation du cristallin.

Des normes [7] et [8] définissent, de manière détaillée, les conditions de mesures et d'évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents.

## 1.6 Moyens de protection collectifs ou individuels

Les moyens de protection consistent à réduire le rayonnement reçu par l'utilisateur en interposant des filtres spécifiques entre lui et la source.

Chaque fois que la configuration du poste le permet, la protection collective est à privilégier. Les filtres sont alors disposés, soit directement devant la source, soit de manière à isoler le poste de travail relatif à la source du reste de l'atelier. Selon la configuration, la forme ou la température de la source, les dispositifs de protections se présentent comme des écrans rigides, en matière minérale ou organique, ou des rideaux souples. En terme de protection collective, il n'existe qu'une seule norme : la norme [9] définit les spécifications de transmission des rideaux et écrans destinés à la protection au soudage à l'arc.

Dans les situations ne permettant pas d'assurer une protection à la source, il est alors nécessaire de recourir à des dispositifs de protection individuelle. Les protecteurs individuels de l'œil sont des

Tableau 5 – Efficacité relative spectrale  $S_\lambda$  du rayonnement ultraviolet

Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Efficacité relative spectrale $S_\lambda$	Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Efficacité relative spectrale $S_\lambda$	Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Efficacité relative spectrale $S_\lambda$	Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	Efficacité relative spectrale $S_\lambda$
180	0,012	255	0,520	310	0,015	335	0,000 34
190	0,019	260	0,650	313	0,006	340	0,000 28
200	0,030	265	0,810	315	0,003	345	0,000 24
205	0,051	270	1,000	316	0,002 4	350	0,000 20
210	0,075	275	0,960	317	0,002 0	355	0,000 16
215	0,095	280	0,880	318	0,001 6	360	0,000 13
220	0,120	285	0,770	319	0,001 2	365	0,000 11
225	0,150	290	0,640	320	0,001 0	370	0,000 093
230	0,190	295	0,540	322	0,000 67	375	0,000 077
235	0,240	297	0,460	323	0,000 54	380	0,000 064
240	0,300	300	0,300	325	0,000 50	385	0,000 053
245	0,360	303	0,120	328	0,000 44	390	0,000 044
250	0,430	305	0,060	330	0,000 41	395	0,000 036
254	0,500	308	0,026	333	0,000 37	400	0,000 030

filtres, en matière minérale ou organique, montés sur des lunettes, surlunettes, masques ou écrans. Quatre normes [10], [11], [12] et [13] relatives à une utilisation ou un domaine spectral particulier, définissent les exigences relatives aux facteurs de transmission des filtres.

## 2. Éclairage

### 2.1 Terminologie

L'éclairage fait partie intégrante de l'environnement de travail. En effet, au poste de travail, plus de 80 % des informations nécessaires au déroulement de l'activité professionnelle sont d'origine visuelle. Ainsi, pour se déplacer, exécuter une tâche sans difficulté de façon sûre et efficace, il est nécessaire d'assurer une bonne visibilité de tous les éléments constituant la tâche visuelle. L'éclairage doit donc assurer un environnement lumineux adapté aux activités professionnelles. Bien que l'éclairage ne soit pas une nuisance, s'il est inadéquat à la tâche visuelle, il constitue un facteur de contrainte générateur de fatigue visuelle ; il augmente la charge de travail, oblige les opérateurs à effectuer des efforts importants pour détecter et traiter l'information visuelle nécessaire à l'accomplissement de leur tâche.

#### Voir :

- d'un point de vue psychophysique, voir signifie reconnaître les objets et détails présentés dans un environnement et comprendre leur signification ;
- au poste de travail, voir représente la capacité d'utiliser des informations visuelles pour accomplir une tâche.

**Visibilité** : appréciation qualitative de la facilité, de la rapidité et de la précision avec lesquelles un objet est détecté et reconnu visuellement.

**Fatigue visuelle** : ensemble de phénomènes psychophysiologiques subjectifs témoignant d'un affaiblissement des fonctions visuelles, sensorielles et/ou motrices ; ces phénomènes sont réversibles avec le repos.

**Tâche visuelle** : terme désignant, de façon conventionnelle, les objets et les détails devant être vus pour exercer une activité. Dans cette acception, le terme « tâche visuelle » n'est pas exact, car il se réfère aux objets présentés (ou aux stimuli visuels) et non pas à la tâche consistant à extraire les informations visuelles de ces objets. Il convient de distinguer tâche visuelle et tâche globale.

**Confort visuel** : appréciation subjective d'un environnement permettant d'accomplir aisément une tâche au cours d'une période de travail. Une bonne visibilité est une condition nécessaire, mais pas suffisante, pour exécuter confortablement une activité.

### 2.2 Grandeurs

La notion d'éclairage fait intervenir différentes grandeurs fondamentales définies par la **CIE (Commission internationale de l'éclairage)** [1]. Cependant les grandeurs les plus couramment utilisées en éclairage sont l'éclairement et la luminance, qui peuvent être définis comme suit :

- l'**éclairement** représente la quantité de lumière reçue par unité de surface ; il est exprimé en **lux** ;
- la **luminance** caractérise l'aspect lumineux d'une surface éclairée ou d'une source dans une direction donnée ; elle est exprimée en **candela par mètre carré** ( $\text{cd/m}^2$ ).

### 2.3 Caractéristiques d'un bon éclairage

L'éclairage d'un local doit donc assurer la sécurité des travailleurs, une bonne visibilité de la tâche mais, également, le confort visuel des personnes. La prise en compte de ces paramètres conduit à définir :

- des éclairements minimaux des locaux ;
- des critères permettant de limiter l'éblouissement ;
- une limitation des contrastes de luminance dans le champ visuel des opérateurs ;
- des recommandations sur les caractéristiques spectrales des sources lumineuses.

## 2.4 Éclairagements recommandés, prescriptions réglementaires

### 2.4.1 Définitions

Il est important de considérer la **variation de l'éclairage dans le temps**. En effet, divers facteurs, tels que le vieillissement des lampes et l'empoussièrement détériorent progressivement les performances d'une installation. La figure 1 représente un exemple de diminution de l'éclairage moyen dans un local en fonction de la durée d'utilisation de l'installation d'éclairage et conduit à distinguer les différentes notions d'éclairage :

- l'**éclairage moyen initial** est l'éclairage moyen fourni par une installation neuve ;
- l'**éclairage moyen à maintenir** est l'éclairage moyen qui détermine une intervention d'entretien (nettoyage des luminaires complété, ou non, par le remplacement simultané des lampes) ;
- l'**éclairage ponctuel** est l'éclairage mesuré en un point d'un local à un moment donné.

### 2.4.2 Éclairagements recommandés

Les éclairagements recommandés par la norme NF EN 12464-1 [24] sont des éclairagements moyens à maintenir. Il s'agit toujours d'éclairagements minimaux, maintenus à tout moment, quelles que soient les conditions climatiques, l'heure et le jour de l'année. L'éclairage artificiel doit donc, à lui seul, assurer ces éclairagements qui doivent, en outre, être adaptés à la nature et à la précision de la tâche à effectuer ; des exemples sont donnés dans le tableau 6 à la première colonne.

De plus, d'importantes variations spatiales de l'éclairage autour de la zone de travail peuvent entraîner un stress visuel et un inconfort. Ainsi, selon la norme précitée, l'éclairage moyen des

zones environnantes immédiates peut être plus faible que celui de la tâche mais ne doit pas être inférieur aux valeurs données dans le tableau 7. Dans la norme NF EN 12464-1, [24] les zones environnantes immédiates sont définies par une bande d'au moins 0,50 m entourant la zone de travail dans le champ visuel.

### 2.4.3 Prescriptions réglementaires

Les **décrets n° 83-721 et 83-722 du 2 août 1983** et les **circulaires du 11 avril 1984** définissent les éclairagements ponctuels minimaux de l'éclairage général et de la tâche visuelle, dans les lieux affectés au travail [14], [15] et [16]. Selon la législation, il ne faut que, en aucun point du local et à aucun moment, les éclairagements ponctuels mesurés ne soient inférieurs aux valeurs réglementaires. Ces **éclairagements ponctuels minimaux** sont donnés dans le tableau 8. Il est à noter que ces valeurs d'éclairagements ponctuels ne sont pas directement comparables aux éclairagements moyens à maintenir, recommandés par la norme NF EN 12464-1 [24].

## 2.5 Éblouissement produit par les luminaires d'une installation d'éclairage

L'éblouissement est la sensation produite par des surfaces brillantes dans le champ visuel. Il peut être ressenti comme un éblouissement d'inconfort ou un éblouissement d'incapacité. Il est important de limiter l'éblouissement pour éviter les erreurs, la fatigue et les accidents. Dans les lieux de travail intérieurs, l'éblouissement d'inconfort peut provenir directement, ou par réflexion, de luminaires brillants ou des fenêtres. Si les limites de l'éblouissement d'inconfort sont satisfaites, l'éblouissement d'incapacité n'est habituellement pas un problème majeur.

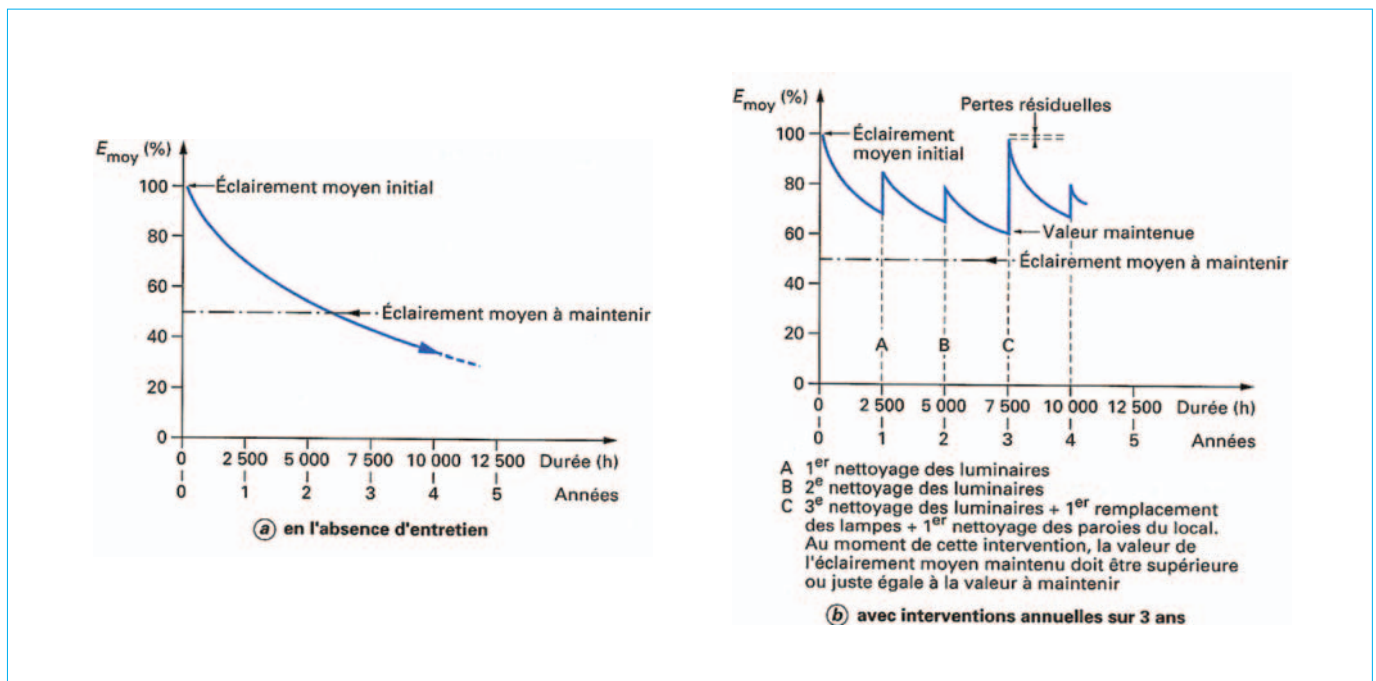


Figure 1 – Exemple de variation de l'éclairage moyen, entre absence et présence d'entretien (source AFE [6])



**Tableau 6 – Éclairage moyen à maintenir, UGR et indice de rendu des couleurs recommandés**

Zones, tâches, activités	Éclairage moyen à maintenir (valeur minimale en lux)	UGR Valeur maximale	Indice de rendu des couleurs $R_a$ Valeur minimale
<b>Zones de circulation et couloirs</b>	100	28	40
<b>Magasins, entrepôts</b>	100	25	60
<b>Salle de conférence</b>	500	22	80
<b>Bureaux</b>			
– classement	300	19	80
– lecture, dactylographie	500	19	80
– archives	200	25	80
<b>Industrie électrique</b>			
– fabrication de câbles et de fils électriques	300	25	80
– imprégnation bobines	300	25	80
– bobinage grandes bobines	300	25	80
– bobinage bobines de taille moyenne	500	22	80
– petites bobines	750	19	80
– travail de précision (équipements de mesure)	1 000	16	80
<b>Fonderie et moulage des métaux</b>			
– préparation du sable	200	25	80
– hall de coulée	200	25	80
– moulage à la main et moulage des noyaux	300	25	80
– moulage machine	200	25	80

**Tableau 7 – Rapport des éclairages entre les zones environnantes immédiates et la zone de travail**

Éclairage de la tâche (en lux)	Éclairage des zones environnantes immédiates (en lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{\text{tâche}}$
Uniformité ( $E_{\text{min}}/E_{\text{moy}} \geq 0,7$ )	Uniformité ( $E_{\text{min}}/E_{\text{moy}} \geq 0,5$ )

**Tableau 8 – Éclairages ponctuels minimaux réglementaires**

Locaux concernés	Éclairages ponctuels réglementaires (en lux)	
Zones et voies de circulation extérieures	10	
Aires de travail extérieures	40	
Voies de circulation intérieures	40 à 60	
Locaux affectés à des tâches ne nécessitant pas la perception de détails	120 (1)	200 (2)
Locaux affectés à des travaux nécessitant la perception de détails	120 (1)	300 à 600 (2)
(1) 120 lux minimum assuré par l'éclairage général		
(2) éclairage dans la zone de travail		

### 2.5.1 Recommandations

La norme NF EN 12464-1 traduit l'éblouissement d'inconfort provenant directement des luminaires d'une installation d'éclairage par le taux d'éblouissement unifié (UGR). Il s'évalue à l'aide de la méthode tabulaire définie par la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) [17]; cette méthode est basée sur la relation suivante :

$$UGR = 8 \log_{10} \left[ \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right]$$

avec  $L_b$  luminance de fond exprimée en  $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ , calculée comme  $E_{\text{ind}}/\pi$  avec  $E_{\text{ind}}$  éclairage vertical indirect au niveau de l'œil de l'observateur,

$L$  luminance des parties lumineuses de chaque luminaire dans la direction de l'œil de l'observateur, en  $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ,

$\omega$  angle solide (stéradian) des parties lumineuses de chaque luminaire au niveau de l'œil de l'observateur,

$p$  indice de position de Guth pour chaque luminaire se rapportant à sa position par rapport à l'axe visuel [17].

La norme NF EN 12464-1 recommande des valeurs minimales d'UGR en fonction de l'activité et de la précision requise par la tâche. Des exemples sont donnés dans le tableau 6. Cette norme distingue 8 classes d'UGR (UGR = 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28 et 31). Plus la valeur de l'UGR est faible, plus l'éblouissement est faible et meilleur est le confort visuel de l'installation d'éclairage.

## 2.5.2 Prescriptions réglementaires

La circulaire du 11 avril 1984 propose [16] de limiter, dans le champ visuel central de l'observateur, la luminance des sources lumineuses à 3 000 cd/m<sup>2</sup> et la luminance des surfaces lumineuses de grandes dimensions (mur, plafond lumineux) à 500 cd/m<sup>2</sup>.

## 2.6 Contrastes de luminance

Afin de réduire l'inconfort dû aux contrastes de luminance trop élevés, il est généralement recommandé [18] de limiter le rapport entre la luminance du luminaire et celle du plafond à ceux donnés dans le tableau 9.

Tableau 9 – Limitation du rapport entre la luminance du luminaire et celle du plafond	
Tâche ou activité	Luminance moyenne du luminaire sous un angle de 75°
	Luminance du plafond
Tâche visuelle très exigeante	20
Tâche avec des exigences visuelles modérées mais demandant une concentration importante	30
Tâche avec des exigences visuelles et une concentration modérées	40
Tâche avec des exigences visuelles simples et une concentration normale	50
Locaux sans postes de travail fixe, exécution de tâches à très faibles exigences visuelles	60

## 2.7 Caractéristiques spectrales des sources lumineuses

### 2.7.1 Température de couleur proximale

La couleur apparente des lampes courantes émettant une lumière blanche (non colorée) peut être caractérisée [19] par la **température de couleur proximale** ( $T_{cp}$ ) qui varie de 2 500 à 7 500 K. Les teintes *chaudes* correspondent à  $T_{cp} \leq 3\,300$  K, les teintes *intermédiaires* à  $3\,300 \text{ K} < T_{cp} \leq 5\,300$  K et les teintes *froides* à  $T_{cp} > 5\,300$  K. Les teintes chaudes sont préférées pour les faibles niveaux d'éclairage et les teintes froides pour les niveaux d'éclairage élevés.

Le **diagramme de Kruthoff** (figure 2 d'après [18]) donne, pour chaque température de couleur, le niveau d'éclairage minimal et maximal à respecter.

### 2.7.2 Indice de rendu des couleurs (IRC)

Cet indice défini par la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) [1] indique l'aptitude d'une lampe à restituer l'aspect coloré habituel des objets éclairés, par référence à une lumière conventionnelle de même température de couleur. Le tableau 6 présente des exemples de valeurs de l'IRC recommandées par la norme NF EN 12464-1 [23], en fonction de l'activité et de la précision nécessaires à l'accomplissement de la tâche.

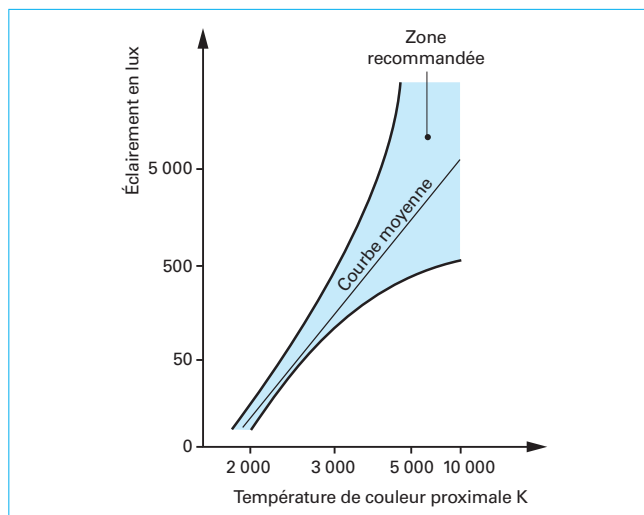


Figure 2 – Diagramme de Kruthoff (d'après [18])

## 2.8 Méthodes et appareils de mesure

Les mesures d'**éclairage** sont réalisées à l'aide d'un **luxmètre**. La cellule du luxmètre doit posséder un dispositif de correction d'incidence et avoir une réponse spectrale correspondant à l'efficacité lumineuse relative spectrale [1] de l'observateur de référence CIE. Le luxmètre doit être étalonné régulièrement (au moins tous les ans) et doit être conforme à la norme **NF C 42-710** [25].

Les mesures sont effectuées la nuit, en l'absence de lumière naturelle. Pour les mesures nécessaires à la détermination de l'éclairage moyen sur le plan utile, la cellule est placée horizontalement à la hauteur de ce plan, en différents points choisis. Ces points sont choisis et l'éclairage moyen est calculé selon le procédé décrit dans l'annexe D de la publication [18] de l'AFE.

La **luminance** est mesurée à l'aide d'un **luminancemètre** corrigé spectralement (cf. luxmètres), ayant une ouverture au moins égale à 1° et possédant un dispositif de visée réflexe. Le luminancemètre doit être étalonné régulièrement (au moins tous les ans). Pour les mesures, l'appareil est placé à hauteur des yeux des opérateurs et orienté vers la source ou la surface concernée.

L'éclairage des locaux affectés au travail doit être conforme aux exigences des **décrets n° 83-721 et 83-722** du 2 août 1983 et des **circulaires du 11 avril 1984**, déjà citées, (références [14], [15], [16]). Pour vérifier cette conformité, les mesures d'éclairage et de luminance doivent être effectuées conformément à l'**arrêté du 23 octobre 1984** par un organisme agréé par le ministère du Travail [20].

## 2.9 Cas particulier des écrans de visualisation

Avec des écrans à fond sombre, l'éclairage préconisé des plans de travail est de **200 à 300 lux**. Avec des écrans à fond clair, cet éclairage peut être proche de celui utilisé pour un travail de bureau ([21] et [22]).

Le local ne devrait comporter de **fenêtres** que **sur un seul côté**. La surface de vitrage ne devrait pas excéder le quart de la surface du sol.

Les postes à écran doivent être éloignés des fenêtres, surtout si les écrans sont à fond sombre. Les écrans doivent être disposés **perpendiculairement aux fenêtres**. Autrement dit, la direction du regard des

opérateurs doit être parallèle aux prises de jour (figure 3). Cependant, selon l'orientation du local et l'emplacement du poste dans ce local, la lumière du soleil peut éblouir un opérateur ou éclairer fortement l'écran au cours de la journée. Dans ce cas, il convient de disposer de **stores à lamelles horizontales**, à l'intérieur du local, pour éviter ces inconvénients. Ces stores permettent de moduler l'éclairage naturel du local et d'avoir une vue sur l'extérieur tout en masquant le ciel. Enfin, avec les cloisons mobiles, ils constituent une solution au problème de l'éclairage dans les bureaux paysagers.

Les éclairages direct et indirect conviennent au travail sur écran de visualisation.

■ **En éclairage direct**, les postes sont installés entre les aplombs des luminaires. Si ces luminaires sont rectangulaires, leur axe longitudinal devrait être parallèle aux fenêtres (figure 3 a). Pour éviter l'éblouissement, aucune source lumineuse ne doit être visible dans un angle de 30° au-dessus du niveau des yeux. Les opérateurs peuvent être protégés par une **grille de défilement** placée sous les luminaires.

■ **En éclairage indirect**, la lumière est dirigée vers le plafond, à l'aplomb ou à proximité immédiate des postes de travail (figure 3 b). Ce plafond doit être de couleur claire et réfléchir une lumière uniforme. L'éclairage indirect est préconisé dans les petits locaux. Les parois du local doivent être plus réfléchissantes (coefficient de réflexion d'environ 0,6) en éclairage direct qu'en éclairage indirect (coefficient de réflexion d'environ 0,4). Enfin, l'éclairage indirect est moins fatigant pour la vue que l'éclairage direct, surtout quand il est associé à un éclairage localisé des documents de travail.

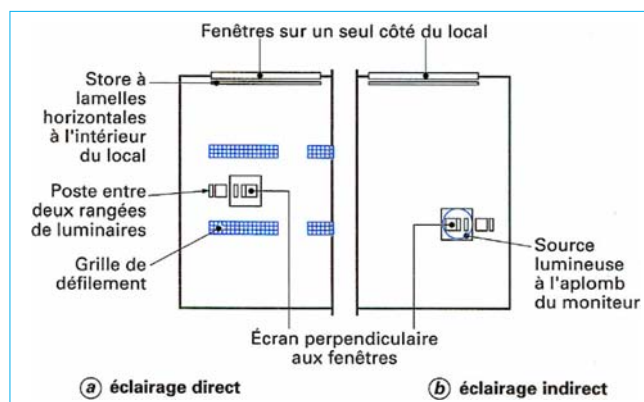


Figure 3 - Implantation optimale des écrans de visualisation

Un **éclairage localisé**, fourni par une lampe d'appoint, est nécessaire si l'éclairage des documents papier est inférieur à 200 lux. Toute lampe d'appoint possédant un éclairage asymétrique ou une grille de défilement convient aux postes informatisés.

Des teintes pastel sont préconisées pour les parois latérales du local. Les surfaces mates sont à privilégier.

## Références bibliographiques

- [1] *Vocabulaire International de l'Éclairage*. Genève, Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), document CIE 50(385), 365 p. (1987).
- [2] ICNIRP. – *Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation)*. Health Physics, 87 (2), pp. 171-186 (2004).
- [3] ICNIRP. – *Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 μm)*. Health Physics, 73 (3), pp. 539-554 (1997).
- [4] BARLIER (A.), SALS (S.) et KLINGLER (A.). – *Évaluation des risques relatifs aux sources de rayonnement optique – CatRayon : catalogue informatisé interactif*. Paris, INRS, Cahier des Notes Documentaires N° 180, 3<sup>ème</sup> trimestre 2000, pp. 37-48.
- [5] INRS. – *CatRayon – CD ROM interactif pour l'évaluation des risques relatifs aux sources de rayonnement optique*. PARIS, INRS, CD-006, juin 2000.
- [6] INRS. – *CatRayon3 – Évaluation de l'exposition au rayonnement optique dans les locaux de travail. Détermination des risques et des moyens de prévention*. PARIS, INRS, CD-006 2<sup>e</sup> édition, septembre 2006.
- [7] NF EN 14255-1. – *Mesurage et évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents. Partie 1 : rayonnements ultraviolets émis par des sources artificielles sur les lieux de travail*. AFNOR, PARIS, mai 2005.
- [8] NF EN 14255-4. – *Mesurage et évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents – Partie 4 : terminologie et grandeurs utilisées pour la mesure de l'exposition au rayonnement ultraviolet, visible et infrarouge*. AFNOR, PARIS, décembre 2006.
- [9] NF EN 1598. – *Hygiène et sécurité en soudage et techniques connexes – Rideaux, lanières et écrans transparents pour les procédés de soudage à l'arc*. AFNOR, mars 2002.
- [10] NF EN 169. – *Protection individuelle de l'œil – Filtres pour le soudage et les techniques connexes – Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée*. AFNOR, mai 2003.
- [11] NF EN 170. – *Protection individuelle de l'œil – Filtres pour l'ultraviolet – Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée*. AFNOR, février 2003.
- [12] NF EN 171. – *Protection individuelle de l'œil – Filtres pour l'infrarouge – Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée*. AFNOR, mai 2002.
- [13] NF EN 172 – 172/A1 – 172/A2. – *Protection individuelle de l'œil – Filtres de protection solaire pour usage industriel*. AFNOR, février 1995, juin 2000, novembre 2001.
- [14] Décret no 83-721 du 2 août 1983 – *Code du travail. Éclairage des lieux de travail*. JO du 5 août 1983, p. 2558.
- [15] Décret no 83-722 du 2 août 1983 – *Code du travail. Règles relatives à l'éclairage de lieux de travail auxquelles doivent se conformer les maîtres d'ouvrage entreprenant la construction ou l'aménagement de bâtiments destinés à l'exercice d'une activité industrielle, commerciale ou agricole*. JO du 5 août 1983, p. 2559.
- [16] Circulaire du 11 avril 1984 – *Commentaire technique des décrets nos 83-721 et 83-722 du 2 août 1983, relatifs à l'éclairage des lieux de travail*. JO numéro complémentaire du 11 mai 1984, p. 4178.
- [17] *Discomfort Glare in Interior Lighting*. Document CIE 117, 39 p. (1995).
- [18] AFE. – *Recommandations relatives à l'éclairage intérieur des lieux de travail*. Société d'éditions Lux, 88 p. (1993).
- [19] *Guide of interior lighting*. Publication CIE 29.2, Commission internationale de l'éclairage (1986).
- [20] *Arrêté du 23 octobre 1984 relatif aux relevés photométriques sur les lieux de travail et aux conditions d'agrément des personnes et organismes pouvant procéder à ces contrôles*. JO numéro complémentaire du 24 novembre 1984, p. 63-66.
- [21] *Le travail sur écran en 50 questions*. Publication ED 725 INRS (1990).
- [22] *Méthode d'implantation de postes avec écran de visualisation en secteur tertiaire*. Fiche Pratique de Sécurité ED 51 INRS (2004).
- [23] Directive relative aux prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (rayonnements optiques artificiels). Directive 2006/25/CE du Parlement Européen et du Conseil du 5 avril 2006, 19<sup>e</sup> directive particulière au sens de l'article 1681 de la directive 89/391/CEE, Journal officiel de l'Union Européenne, Strasbourg, 24 avril 2006.
- [24] NF EN 12464-1. – *Lumière et éclairage – Éclairage des lieux de travail – Partie 1 : Lieux de travail intérieur*. (Indice de classement X90-003-1), Juin 2003.
- [25] NF C 42-710. – *Luxmètres : détermination des caractéristiques métrologiques, classification selon ces dernières, étalonnage, contrôle des caractéristiques principales susceptibles d'évoluer dans le temps*, Février 1988.