RAYONNEMENTS OPTIQUES ARTIFICIELS

SPF Emploi, Travail et Concertation sociale .be

SERVICE PUBLIC FEDERAL EMPLOI, TRAVAIL ET CONCERTATION SOCIALE

Pour plus d'informations sur le SPF Emploi, ses compétences, son organisation, ses thématiques (réglementation du travail, contrats de travail, rémunération, conventions collectives de travail, concertation sociale, bien-être au travail, congés, détachement, restructurations…), consultez **www.emploi.belgique.be**

Pour contacter les services du SPF Emploi, consultez la page « contact » sur **www.emploi.belgique.be**

La présente édition a été entièrement mise à jour en novembre 2020

Rédaction: La rédaction originale de cette brochure date de 2011 et a été réalisée par Maurits De Ridder de la Direction générale Humanisation du travail et Steven Van Cauwenberghe de la Direction générale Contrôle du bien-être au travail

Production: Direction générale Humanisation du travail

Coordination: Direction de la communication

Design graphique: Sylvie Peeters

Editeur responsable: SPF Emploi, Travail et Concertation sociale

Dépôt légal: D/2020/1205/33

Cette publication est accessible et téléchargeable librement sur le site du SPF Emploi, Travail et concertation sociale:
www.emploi.belgique.be

Deze publicatie is ook verkrijgbaar in het Nederlands

M/F/X

Dans un souci de lisibilité, les termes utilisés pour désigner des personnes sont toujours exprimés au masculin. L'utilisation de cette forme doit être comprise comme visant tous les genres.

BESWIC

Retrouvez tous les thèmes et les actualités du bien-être au travail sur le site du Centre de connaissance belge sur le bien-être au travail:
www.beswic.be

Rejoignez-nous sur les réseaux sociaux

@SPFEmploi

www.facebook.com/SPFEmploi

linkedin.com/company/spf-emploi-travail-et-concertation-sociale

spfemploi

AVERTISSEMENT

Cette publication fait référence à des réglementations parfois fort complexes. Aucun droit ne peut être exigé sur base de ce document: pour ce faire, il faut se référer aux textes légaux et réglementaires.

© SPF Emploi, Travail et Concertation sociale

La reproduction de textes de ce document est autorisée moyennant la citation de la source et, s'il échet, des auteurs du document.

Avant-propos

Depuis longtemps déjà, les ouvriers sont exposés aux rayonnements optiques artificiels (fusion du métal et soufflage du verre), et il est connu de longue date que ces rayonnements peuvent occasionner des dommages pour la santé (conjonctivites actiniques, cataracte des verriers). Toutefois, ce n'est qu'en 2010 qu'une législation a été élaborée pour la protection des travailleurs contre ce type de rayonnements. Cela est dû à une meilleure connaissance des mécanismes des dommages pour la santé permettant de déterminer des valeurs limites, mais aussi à la forte augmentation du nombre et des sortes de sources de rayonnements optiques artificiels sur le lieu de travail.

Dans la pratique, toutes les entreprises sont confrontées aux rayonnements optiques artificiels, même si ce n'est que par l'utilisation de lampes et d'écrans. Ce n'est que dans un nombre limité d'entreprises que sont également présentes des sources suffisamment fortes pour engendrer des dommages temporaires ou permanents pour la santé. Il s'agit également de reconnaître ces situations et de prévoir les mesures de prévention et de protection appropriées.

Étant donné que les rayonnements optiques artificiels causent relativement peu de maladies professionnelles et d'accidents du travail, nous pouvons partir du principe que la plupart des entreprises prennent déjà des mesures. Eventuellement, les mesures déjà prises devront encore être affinées ou complétées en raison des dispositions de l'Arrêté royal du 22 avril 2010 relatif à la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés aux rayonnements optiques artificiels sur le lieu de travail, actuellement repris dans le livre V, titre 6 du Code du bien-être au travail. Cette brochure a pour objectif d'y contribuer et est destinée à toutes les personnes impliquées.

Table des matières

Avant-propos **3**
Table des matières **4**
1. Introduction **5**
2. Principes physiques **6**
3. Sources et applications. **7**
3.1 Sources 7
3.1.1 Rayonnements ultraviolets 7
3.1.2 Rayonnements visibles 7
3.1.3 Rayonnements infrarouges 7
3.1.4 Application des rayonnements optiques artificiels 8
4. Effets sur la santé **9**
4.1 Rayonnements ultraviolets 9
4.1.1 Au niveau de la peau 9
4.1.2 Au niveau des yeux 12
4.1.3 Lésions indirectes 13
4.2 Rayonnement visible 13
4.3 Rayonnements infrarouges 14
4.3.1 Au niveau de la peau 14
4.3.2 Au niveau des yeux 15
4.4 Rayonnements laser 16
4.4.1 Risques biologiques 16
4.4.2 Risques oculaires 16
4.4.3 Risques pour la peau 17
4.4.4 Accidents provoqués par des lasers 17
5. Réglementation sur les rayonnements optiques artificiels. **18**
5.1 Chapitre I: champ d'application et définitions 18
5.2 Chapitre II: valeurs limites d'exposition 18
5.3 Chapitre III: analyse des risques 18
5.4 Chapitre IV: dispositions visant à éviter ou à réduire les risques 19
5.5 Chapitre V: information et formation des travailleurs 20
5.6 Chapitre VI: consultation et participation des travailleurs 20
5.7 Chapitre VII: surveillance de la santé 20
5.8 Chapitre VIII: dispositions finales 21
5.9 Annexe I: rayonnements optiques incohérents 21
5.10 Annexe II: rayonnements optiques laser 21
6. Evaluation des risques **23**
6.1 Evaluation des risques 23
6.2 Check-list 25
6.3 Calculs 26
6.4 Exemples 28
6.4.1 Centres de bronzage 28
6.4.2 Travail du métal 28
6.4.3 Décontamination 28
6.4.4 Séchage et durcissement 28
6.4.5 Fours 29
6.4.6 Eclairage 29
6.4.7 Applications laser 29
6.4.8 Applications médicales 29
6.4.9 Incendies 29
6.5 Catégories d'environnements de travail 30
6.6 Rayonnements laser 32
7. Mesurages **35**
8. Mesures de prévention **37**
8.1 Mesures de protection collectives 37
8.2 Mesures de protection individuelles 39
9. Information et formation **41**
10. Surveillance de santé et maladies professionnelles **42**
Annexes **43**
Annexe 1: Check-list rayonnements optiques artificiels 43
Annexe 2: Normes 45

1. Introduction

L'arrêté royal du 22 avril 2010 relatif à la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés aux rayonnements optiques artificiels sur le lieu de travail a été publié au Moniteur belge du 6 mai 2010. Cet AR, qui a été repris dans le livre V, titre 6 du Code sur le bien-être au travail, est une transposition de la Directive 2006/25/CE du Parlement européen et du Conseil du 5 avril 2006 relative aux prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (rayonnements optiques artificiels) (dix-neuvième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la Directive 89/391/CEE).

Le but de cette législation est de prévenir les effets négatifs sur les yeux et la peau susceptibles d'être causés chez les travailleurs par des rayonnements artificiels. Les risques d'exposition aux rayonnements optiques naturels du soleil ne sont pas abordés dans la présente législation parce que l'on a décidé, au niveau européen, de faire une réglementation uniquement pour les sources artificielles. Cela ne veut pas dire pour autant que les rayons du soleil soient sans danger. Au contraire, même ! Lorsque, par une belle journée d'été, on travaille quelques heures dehors, on a une exposition dépassant la valeur limite de l'A.R. rayonnements optiques artificiels. Ici aussi, des mesures devront être prises mais pas sur la base du présent AR.

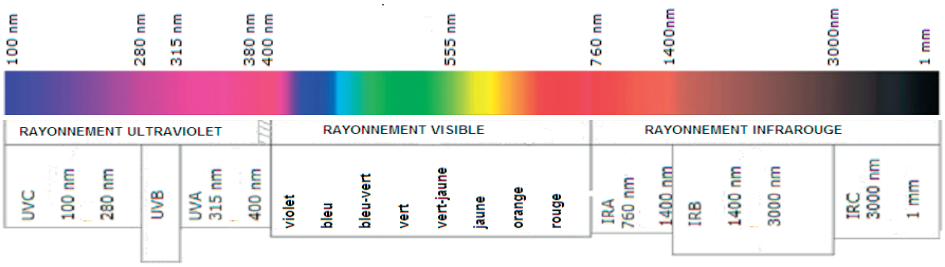
L'AR concerne donc des sources qui émettent des rayonnements optiques dans l'environnement de travail. De telles sources se retrouvent dans chaque entreprise, mais souvent, il s'agira de sources banales, insignifiantes pour lesquelles l'exposition est bien inférieure à la valeur limite et qui ne constituent donc pas un risque. L'éclairage artificiel et les écrans de visualisation en sont un bon exemple. Ces sources ne requièrent pas une analyse des risques approfondie et aucune mesure de prévention ne doit être prise. A côté de cela, il existe des sources et des applications importantes où il y a une possibilité d'exposition au-delà de la valeur limite et où une analyse des risques doit bel et bien être réalisée et des mesures de prévention appropriées être appliquées. Il s'agit, d'une part, des rayonnements optiques artificiels, provoqués de manière fonctionnelle et volontaire, qui constituent un élément du processus de production (lampes UV puissantes, certains lasers), et, d'autre part, d'un sous-produit indésirable, involontaire et inévitable du processus de production (soudure, chauffage de matériaux). Pour ce dernier groupe de sources, il sera plus difficile de disposer de données adéquates pour l'analyse des risques et la prévention.

2. Principes physiques

Le spectre des rayonnements optiques se situe entre les longueurs d'onde λ=100 nanomètres (nm) et λ=1 millimètre (mm). Ce spectre se subdivise en un domaine de rayonnements ultraviolets (UV), un domaine de rayonnements visibles (VIS) et un domaine de rayonnements infrarouges (IR). Une nouvelle subdivision peut être faite en UVC, UVB, UVA, VIS, IRA, IRB et IRC.

Type de rayonnements	**Spectre λ [nm]**
UVC	100 – 280
UVB	280 – 315
UVA	315 – 400
VIS	380 – 760
IRA	760 – 1 400
IRB	1 400 – 3 000
IRC	3 000 – 1 000 000

Subdivision du domaine spectral des rayonnements optiques.



Aperçu des domaines de longueur d'onde des rayonnements ultraviolets, visibles et infrarouges. (La figure n'est pas à l'échelle – source: Steven Van Cauwenberghe)

Les rayonnements infrarouges utilisés pour les applications de chauffage et pour un usage industriel, ménager ou médical ont des longueurs d'onde de 750 nm à 10 000 nm. Le domaine peut être subdivisé en:

IRA	Rayonnements infrarouges ondes courtes	750 nm – 2 000 nm	(>1 500 K)
IRB	Rayonnements infrarouges ondes moyennes	2 000 nm – 4 000 nm	(1 500 K – 750 K)
IRC	Rayonnements infrarouges ondes longues	4 000 nm – 10 000 nm	(750 K – 300 K)

Les températures mentionnées, exprimées en Kelvin (K), sont celles du corps noir qui émet de telles longueurs d'ondes.

Il convient de noter que la densité de puissance [W/m²] émanant d'un objet avec rayonnements infrarouges est proportionnelle à la puissance 4 de la température [T].

Il y a, en outre, une différence entre rayonnements cohérents et rayonnements incohérents. Un laser émet un rayonnement ayant un haut degré de cohérence dans le temps et dans l'espace et a donc une seule longueur d'onde (monochromatique). Ce type de rayonnement peut être considéré comme unidirectionnel, venant d'une source en forme de pointe.

Pour les lasers en continu, la puissance est exprimée en Watt (W). La portée va de quelques mW à plus de 10 000 W pour des lasers capables de découper des métaux.

Les lasers pulsés sont classés selon l'énergie [Joule (J)]. L'énergie de ce type de laser varie de quelques mJ à des centaines de Joules pour des lasers utilisés pour souder (par points).

L'intensité du rayon sur l'axe du laser est constamment proche de la source laser et ne diminue qu'à plus grande distance proportionnellement au carré de la distance. On utilise cette propriété très intéressante de l'intensité constante initiale du rayon laser dans de nombreuses applications industrielles.

Face à ces lasers à rayonnements cohérents, on a les rayonnements incohérents (comme les rayonnements d'une lampe à incandescence, les rayonnements visibles, les rayonnements ultraviolets…) avec un spectre de fréquence continu. Il s'agit d'une superposition de différentes fréquences. Ce type de rayonnement se propage dans toutes les directions et est, par conséquent, tout sauf unidirectionnel.

Enfin, il convient de faire la distinction entre rayonnements ionisants et non ionisants. Les rayonnements ultraviolets constituent la limite entre rayonnements ionisants et non ionisants. Cette limite est fixée par convention à 300 nm. Cette longueur d'onde et les longueurs d'onde inférieures entraînent des rayonnements ionisants.

3. Sources et applications

En tant que source naturelle de rayonnement optique, le soleil émet, avec sa température de 6 000 K, des rayonnements infrarouges, visibles et ultraviolets. Des objets ayant une température inférieure à 750 K n'émettent quasiment que des rayonnements infrarouges.

Le soleil est la principale source de rayonnement ultraviolet. La couche d'ozone autour de la terre absorbe les rayons UVC et une partie des rayons UVB. Plus la concentration en ozone est importante, plus la quantité de rayonnements ultraviolets au sol est réduite. Dans l'atmosphère, les rayonnements ultraviolets sont dispersés dans toutes les directions. Le spectre ultraviolet diffère également en fonction de l'endroit, du moment, de toutes sortes de pollutions, de l'angle d'incidence et de l'état de l'atmosphère.

3.1 Sources

3.1.1 Rayonnements ultraviolets

Pratiquement toutes les sources de rayonnement ultraviolet artificiel émettent des rayonnements sur un large domaine spectral. A l'aide de filtres, on supprime les rayonnements moins souhaitables tels que les rayonnements infrarouges et visibles. Il existe trois groupes de sources de rayonnement ultraviolet artificiel:

1) Lampes à incandescence
   Le rayonnement électromagnétique est créé par le chauffage d'un matériau qui est généralement filiforme. Citons comme exemple typique la lampe quartz-iode à filament de tungstène ou la lampe halogène.
2) Lampes à décharge
   Ici, le rayonnement est créé par une décharge électrique dans un gaz. Les lampes à vapeur de mercure ou les tubes fluorescents (tubes TL) en sont des exemples types. Ainsi, les lampes des bancs solaires sont généralement des lampes à vapeur de mercure avec des longueurs d'onde se situant entre 250 nm et 350 nm.
3) Sources spéciales
   Ici, on trouve notamment les arcs de soudage.

Les lampes sont toujours accompagnées de leurs caractéristiques électriques et de rayonnement. Souvent, on indique le pourcentage de rayonnements ultraviolets et la répartition spectrale de l'énergie.

3.1.2 Rayonnements visibles

Les rayonnements visibles sont les mieux connus. Ils sont principalement produits par toutes sortes de lampes.

3.1.3 Rayonnements infrarouges

La plupart des sources de rayonnement infrarouge trouvent leur origine dans la combustion d'un gaz ou de mazout ou le passage d'un courant électrique à travers un élément de résistance.

- Les radiateurs à infrarouges à ondes courtes (IRC) prennent la forme de lampes et de tubes de quartz et sont souvent pourvus d'un réflecteur.
- Les radiateurs à infrarouges à ondes moyennes (IRM) consistent en des radiants à tubes de silice, panneaux de silice ou radiants métalliques en matériaux réfractaires.
- Les radiateurs à infrarouges à ondes longues (IRL) se composent d'éléments céramiques dans lesquels sont coulés des éléments de résistance.

3.1.4 Application des rayonnements optiques artificiels

Longueur d'onde	utilisés pour	produits fortuitement en cas de
UVC	stérilisation et destruction des germes fluorescence photolithographie	durcissement des encres éclairage des surfaces de travail lampes de projection soudure à l'arc
UVB	bancs solaires photothérapie fluorescence photolithographie	lampes germicides durcissement des encres éclairage des surfaces de travail lampes de projection soudure à l'arc
UVA	photothérapie fluorescence (tests non-destructifs, détection de fausse monnaie, marquage de propriété, effets d'amusement...) bancs solaires durcissement des encres lampes pour attirer les insectes photolithographie	lampes germicides éclairage des surfaces de travail lampes de projection soudure à l'arc
VIS	éclairage des surfaces de travail lampes témoins signalisation routière épilation et enlèvement des varices durcissement des encres lampes pour attirer les insectes photolithographie photocopieuses projection écrans de télévision et d'ordinateur	bancs solaires soudure processus de chauffage et de séchage
IRA	installations de surveillance chauffage séchage épilation et enlèvement des varices communication et commande à distance	éclairage des surfaces de travail soudure
IRB	chauffage séchage communication et commande à distance	éclairage des surfaces de travail soudure
IRC	chauffage séchage	éclairage des surfaces de travail soudure

Dans le tableau, la colonne "produits fortuitement en cas de" mentionne les rayonnements qui peuvent uniquement être émis dans des conditions d'erreur ou en cas de défaillance de l'installation.
Dans les appareils laser, on peut utiliser tant les rayonnements optiques que les rayonnements ultraviolets ou infrarouges. Les risques d'un laser aux rayons ultraviolets ou infrarouges sont, dès lors, les mêmes que ceux présentés par d'autres appareils utilisant ces rayonnements. Viennent s'ajouter à cela des risques spécifiques au laser.

On rencontre les types de laser suivants:

- Laser hélium-néon (He-Ne): dans la construction pour l'alignement, la fixation des niveaux, la télémétrie, la topographie; en métrologie (réglage de machines), holographie, reconnaissance de codes, traitement de données, impression graphique, mesurage de la distribution granulométrique,…
- Laser au dioxyde de carbone (CO2): découpe de divers matériaux, soudure, forage, traitement thermique, chirurgie, durcissement de surface,…
- Laser Yag: évaporation de métaux, réglage de résistances, chauffage à blanc, ophtalmologie et chirurgie, forage et soudure, gravure,…
- Laser à colorants: spectroscopie, étude des matériaux, dermatologie,…
- Laser à rubis: holographie, télémétrie,…
- Laser à azote (N2-): impression graphique, photochimie,…

4. Effets sur la santé

4.1 Rayonnements ultraviolets

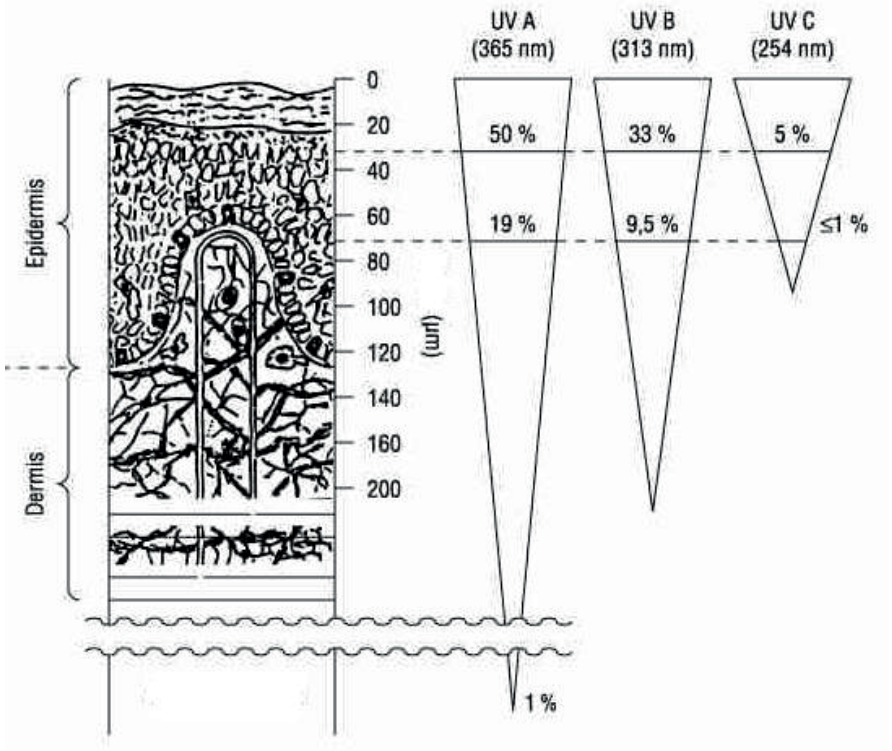
4.1.1 Au niveau de la peau

A. Composition de la peau

La peau se compose de trois couches différentes: l'épiderme, le derme et le tissu sous-cutané. L'épaisseur de la couche extérieure de l'épiderme varie de 50 à 600 micromètres. C'est dans la couche de base de cet épiderme que se trouvent les mélanocytes. En temps normal, la division de ces cellules est très lente, mais elle s'accélère en cas d'exposition aux rayonnements ultraviolets (UV). Les mélanocytes produisent la mélanine, un pigment qui absorbe les UV et joue donc un rôle crucial dans la protection des tissus inférieurs par l'épiderme. L'épaisseur de la peau constitue un facteur encore plus essentiel dans la protection contre les UV.

B. Absorption, réflexion et pénétration

Les rayonnements UV qui atteignent la peau peuvent être absorbés, réfléchis et/ou diffusés. L'exposition de la couche supérieure de la peau sera donc différente de celle des couches inférieures.
95 % du rayonnement est absorbé. L'absorption dépend des caractéristiques absorbantes spécifiques des molécules présentes. Ainsi, les acides aminés aromatiques absorbent fortement les rayons d'environ 275 nm, tandis que l'ADN absorbe le mieux les rayons avoisinant les 260 nm. La mélanine absorbe jusque dans le domaine de rayonnement UVA et de rayonnement visible. L'énergie absorbée est convertie en chaleur ou utilisée pour des réactions photochimiques.
5 % du rayonnement incident est réfléchi. La réflexion se produit à tous les niveaux et pas uniquement à la surface de la couche cornée.
La profondeur à laquelle pénètrent les rayons dépend de la longueur d'onde du rayonnement. Plus la longueur d'onde augmente, plus la pénétration est profonde.



Pénétration du rayonnement UVA, UVB et UVC dans la peau humaine (Source: Bruls et al., 1984)

Ce schéma montre que, lors d'une même exposition superficielle aux UVA et UVB, on constate une plus forte exposition aux UVA qu'aux UVB à une certaine profondeur. Alors qu'1 % à peine du rayonnement UVC pénètre dans l'épiderme, environ 1 % des UVA se fraie un chemin jusqu'au tissu sous-cutané.

La répartition et la taille des particules de mélanine dans la peau jouent également un rôle important quant à la pénétration des rayons dans la peau.

C. Sensibilité de la peau

La sensibilité de la peau (résistance contre les lésions aiguës et chroniques) dépend du type de peau ou phototype.
Chez les individus de phototype I, la peau est pâle, rougit mais ne bronze pas lors d'une exposition au soleil, sauf sous la forme de taches de rousseur. On rencontre surtout ce phototype chez les personnes d'origine celte, comme les Écossais et les Irlandais.
Chez les individus de phototype II, la peau rougit toujours mais se pigmente toutefois par la suite.
La peau des personnes de phototype III peut d'abord rougir avant de se pigmenter normalement. La majorité des Belges ont une peau de phototype II ou III.
Les personnes de phototype IV ont une peau qui ne rougit jamais et bronze toujours. C'est le cas de la plupart des Européens du sud.
Les personnes de phototype V sont relativement pigmentées de nature, comme les Indiens et les Asiatiques.
Les individus de phototype VI ont une peau fortement pigmentée, comme les personnes noires.

D. Adaptation de la peau

Une exposition modérée aux rayons UVB permet d'augmenter la résistance aux expositions ultérieures aux UV, en stimulant les mélanocytes à produire de la mélanine (mélanogenèse). Les UVB provoquent également un épaississement de la peau et améliorent les caractéristiques réfléchissantes de l'épiderme, ce qui n'est pas le cas des UVA.

E. Synthèse de la vitamine D 3

Exposer la peau aux UVB permet la synthèse de la vitamine D3, nécessaire à l'absorption du calcium au niveau des intestins.

Après une exposition totale du corps à une Dose Minimale d'Érythème (MED ou la plus petite dose de rayonnement occasionnant la rougeur), la concentration de vitamine D3 dans le sang augmente d'un facteur 10 en l'intervalle de 24 heures. Après une semaine sans exposition, cette concentration redescend au niveau initial.

Les rayonnements ultraviolets sont essentiels pour satisfaire les besoins du corps en vitamine D3. Il n'est pas pour autant nécessaire de s'exposer constamment au soleil. En effet, une exposition quotidienne du visage et des mains de 15 minutes, soit 55 DEM par an, comblerait nos besoins en vitamine D3.

Si la peau n'est pas suffisamment exposée aux UVB, une carence en vitamine D3 peut apparaître, provoquant une fragilisation des os. À cet égard, les principaux groupes à risques sont les enfants à peau mate vivant dans des villes situées à un haut degré de latitude et les personnes âgées qui ne sortent plus de chez elles.

F. Effets sur la santé à court terme

Pigmentation et bronzage de la peau

Lorsque la peau est exposée aux rayonnements UV, deux réactions de bronzage se produisent.
Directement après l'exposition, la mélanine déjà présente va foncer. Cette réaction s'atténue quelques heures après la fin de l'exposition. Cet effet direct est principalement causé par les UVA.
Il faut 3 jours d'exposition avant que la mélanogenèse ne s'enclenche. Elle atteint son maximum après 4 à 10 jours d'exposition et est essentiellement provoquée par les UVB. La mélanogenèse consiste en l'augmentation du nombre et de la taille des granules de mélanine dans la peau, ainsi que de leur pigmentation. Cet effet est plus durable.

Erythème et coup de soleil

Dans sa forme bénigne, le coup de soleil consiste en une rougeur de la peau qui survient dans les 8 heures suivant l'exposition, atteint son maximum après 8 à 24 heures et disparaît progressivement au cours des 3 jours suivants. La rougeur se produit en raison de la vasodilatation capillaire. Dans les formes plus sérieuses, on constate de l'inflammation, la formation de cloques et une desquamation.

L'ampleur du coup de soleil dépend surtout du type de peau, du degré de pigmentation et des longueurs d'ondes auxquelles on est exposé. Les UVA, les UVB et les UVC peuvent tous trois causer de l'érythème, mais à des degrés divers. Les longueurs d'ondes les plus érythématogènes se situent aux environs de 250 à 290 nm.

La plus petite dose de rayonnement provoquant la rougeur est appelée «Dose Minimale d'Érythème» (MED). Pour les Blancs, la MED s'élève à environ 200 J/m2 pour les longueurs d'ondes situées entre 250 et 300 nm. Un type de peau moyen, qui n'a pas été exposé à la lumière du soleil pendant longtemps, peut normalement supporter des rayons solaires intenses pendant 20 minutes.

Photosensibilisation

Tant la prise de médicaments que l'application locale de certains produits peuvent provoquer des réactions de photosensibilité aux UVA, l'individu devenant alors extrêmement sensible au soleil.

Cette sensibilité se traduit par l'apparition d'éruptions cutanées, d'érythème ou d'autres effets lors d'une exposition qui n'aurait aucun effet sur des individus normaux.

Les substances photosensibilisantes les plus fréquentes sont les:

- Sulfamidés;
- Salicylanilides;
- Dérivés de goudron de houille: acridine, anthracène, phénanthrène;
- Colorants: anthraquinone, éosine, bleu de méthylène, rose bengale;
- Psoralènes;
- Cyclamates;
- Médicament anti inflammatoire non stéroïdien;
- Déodorants et substances bactériostatiques présentes dans le savon;
- Substances fluorescentes pour la cellulose, le nylon ou les tissus en laine;
- Phénothiazines;
- Sulfonylurées;
- Composants de produits solaires: 6 acétoxy 2,4 diméthyl m dioxane, benzophénones, cinnamates, oxybenzone, acide para amino-benzoïque (PABA), esters de PABA;
- Tétracyclines;
- Antidépresseurs tricycliques.

La réaction aux substances photosensibilisantes peut être phototoxique ou photoallergique. La dermatite de contact phototoxique peut affecter n'importe qui. Le spectre d'action de la plupart des substances sensibilisantes phototoxiques varie de 280 à 430 nm. Par conséquent, les vitres qui absorbent les rayons UV sous les 320 nm protègent de nombreuses substances photosensibilisantes, mais pas des matières comme le goudron et les psoralènes, qui ont un effet à des longueurs d'ondes supérieures.
Les réactions photoallergiques ne se produisent que chez les personnes qui ont développé une allergie. La concentration médicamenteuse suffisant à provoquer une réaction photoallergique est bien plus faible que la concentration pouvant susciter une réaction phototoxique.
Lorsque la photosensibilisation est causée par un contact avec des plantes, on parle de «phytophotodermatite». Il s'agit d'une dermatose professionnelle très courante qui survient habituellement après une exposition au soleil de plusieurs heures. Généralement, les signes cliniques observés sont des lésions linéaires (érythème ou cloques) résultant, le plus souvent, d'un contact linéaire avec les plantes. Les cloques guérissent souvent en laissant une pigmentation résiduelle. Les lésions dues à une phytophotodermatite n'apparaissant habituellement que 2 à 3 jours après le contact avec la plante et l'exposition au soleil, on n'établit pas toujours le rapprochement. On observe ces phytophotodermatites notamment chez les maraîchers et les jardiniers.

G. Effets sur la santé à long terme

Vieillissement de la peau

Les UV provoquent, surtout chez les Blancs, des mutations dégénératives de la peau, comme des télangiectasies, des papules jaunâtres, un milium colloïde, un érythème diffus, une pigmentation diffuse, des taches brunes, des naevi, des ecchymoses, des rides, des déformations et de l'atrophie. Ces mutations cutanées sont parfois cumulées dans des syndromes tels que de la cutis rhomboidalis nuchae (peau ridée épaisse et jaunâtre au niveau du cou), qui se déclare souvent chez les personnes ayant beaucoup travaillé en extérieur au cours de leur vie (les agriculteurs, les pêcheurs, etc.). D'ailleurs, le vieillissement de la peau serait davantage une question d'accumulation d'exposition aux UV qu'une question d'âge.

Cancer de la peau

La preuve épidémiologique du lien entre l'exposition aux rayonnements UV et le risque de cancer de la peau est principalement fournie par des études portant sur l'exposition aux rayons solaires.

Les arguments tendant à établir cette corrélation sont les suivants:

- on rencontre davantage de cancers de la peau chez les personnes sensibles au soleil;
- les cancers de la peau se développent principalement sur les parties du corps exposées au soleil;
- on compte davantage de cancers de la peau dans les régions fortement ensoleillées;
- les cancers de la peau touchent davantage les personnes s'exposant largement au soleil.

On détient surtout la preuve du lien avec le carcinome spinocellulaire et, dans une moindre mesure, avec l'épithélioma basocellulaire et le mélanome. L'épidémiologie n'a établi aucun rapport entre les rayonnements optiques artificiels et l'épithélioma basocellulaire.
Un épithélioma basocellulaire apparaît en général sur le visage et se présente cliniquement sous la forme d'une tumeur nodulaire présentant, de manière classique, des bords nacrés et brillants. La métastase ne se produit que dans de rares cas.

Un épithélioma spinocellulaire se présente généralement sous la forme d'une ulcération qui peine à guérir ou d'une tumeur ulcérée apparaissant au niveau du pavillon des oreilles, du visage, des lèvres ou du dos des mains. Ce type d'épithélioma n'affecte pas seulement une zone locale, il peut également se propager.

De toute évidence, il faut une très longue exposition au soleil avant de développer un cancer de la peau. Jusqu'à présent, on n'a pas encore déterminé avec précision la quantité maximum d'UVB qu'un individu pouvait recevoir au cours de sa vie avant que le risque de développer un cancer de la peau ne commence à croître. Il apparaît toutefois de manière évidente que plus l'exposition a été intense et longue, plus le risque augmente nettement. Il est important de réaliser que des cancers de la peau peuvent aussi affecter des personnes pour qui l'exposition au soleil n'a jamais posé problème.

Pour l'épithélioma spinocellulaire, le facteur à prendre en compte est la dose cumulative totale, alors que pour l'épithélioma basocellulaire et le mélanome malin, ce sont surtout les overdoses aiguës pendant la jeunesse qui ont une grande influence. On admet de plus en plus l'existence d'un rapport entre les brûlures sérieuses et l'apparition ultérieure d'un mélanome malin. C'est pourquoi il faut d'autant plus préserver des brûlures les personnes travaillant à l'extérieur.

L'effet cancérigène des UVB provient, d'une part, de la détérioration de l'ADN et, d'autre part, de la baisse de l'immunité.

Immunosuppression

Les rayonnements UV peuvent affaiblir l'immunité cellulaire. Cet effet est local mais, avec les rayonnements UVB, il peut également être systémique. Dans la recherche, on utilise des doses de rayonnement dont l'intensité varie d'insuffisante pour provoquer un coup de soleil à suffisante pour en causer un léger. Un effet serait déjà perceptible dès une demi MED. Les effets décrits peuvent aussi affecter les peaux noires.

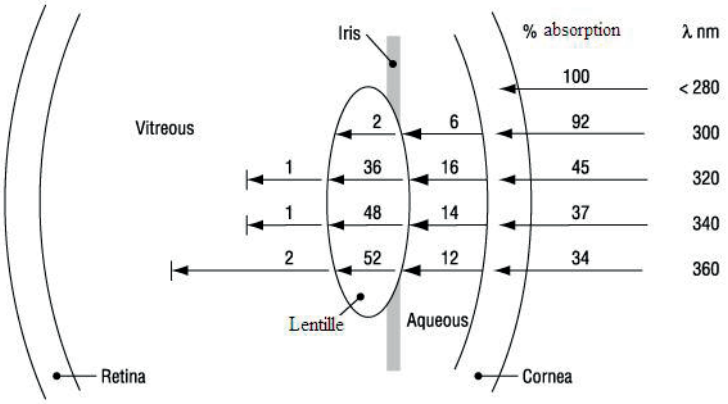
Les rayonnements UV pourraient également influencer l'activité des agents infectieux par le biais de cette immunosuppression. Certains éléments démontrent que les UVB activent la multiplication du virus de l'immunodéficience humaine dans les cellules T. Les rayonnements UV sont également susceptibles de réactiver des infections latentes dues au virus de l'herpès, comme l'herpes simplex et le zona (herpès zoster). Le mécanisme précis de ce phénomène reste inconnu.

4.1.2 Au niveau des yeux

A. Pénétration et absorption

L'absorption des UV par l'œil humain est représentée ci-après. La plus grande partie des rayonnements UV est absorbée par le film lacrymal et la cornée. Les rayons ultraviolets avec des longueurs d'ondes supérieures à 295 nm pénètrent jusque dans la partie avant de l'œil et du cristallin ("lentille" sur le schéma). Une certaine quantité d'UVA peut pénétrer jusqu'à la rétine. Lorsque les yeux sont fermés, les paupières constituent une protection supplémentaire, réduisant d'un facteur 20 l'exposition de l'œil et empêchant pratiquement tous les UV de parvenir à la rétine (réduction d'un facteur 1 000).

Représentation schématique de l'absorption des UV dans l'œil. Les nombres représentent le pourcentage de rayonnement incident absorbé par la couche concernée.



Pénétration du rayonnement UV dans l'œil (Source: ICNIRP)

B. Effets sur la santé à court terme: photokératite et photoconjonctivite

Parmi les effets sur l'œil d'une exposition professionnelle aux rayonnements UV, le plus important est une inflammation des couches supérieures (cornée et conjonctive) de l'organe visuel (photokératite et photoconjonctivite). Cette affection se produit 2 à 12 heures après l'exposition aux rayonnements

et se caractérise par de la photophobie, des spasmes des paupières, de la rougeur, des irritations et parfois de vives douleurs. Les symptômes disparaissent après 24 heures à 5 jours, généralement sans séquelles. Dans les cas les plus sérieux, une suppuration de la cornée peut se produire.

Les soudeurs appellent cette affection «coup d'arc»,tandis que ce même type de lésion, quand elle est provoquée à haute altitude par les rayons du soleil sur de la neige fortement réverbérante, est appelé «cécité des neiges».

Au contraire de la peau, l'œil ne développe aucune tolérance aux rayonnements UV. Ce sont surtout les rayons avoisinant 280 nm qui causent les effets décrits ci-dessus. La gravité de l'impact dépend de la quantité d'énergie absorbée. Le seuil à partir duquel ces effets apparaissent se situe aux environs de 50 J/m2 pour un rayonnement de 270 nm.

C. Effets sur la santé à long terme: cataracte

La cataracte est une opacification du cristallin. Le fait que la cataracte est plus courante dans les régions généralement et intensément ensoleillées tend à indiquer un lien entre l'exposition aux rayonnements UV et l'apparition de la cataracte.

Les études épidémiologiques dans lesquelles on a mesuré l'exposition aux UVB démontraient un lien dose/réaction. À cet égard, force est de constater que toutes les études épidémiologiques ne sont pas cohérentes et que la détermination de l'exposition réelle et des variables confondantes de ces études constitue un sérieux problème. Toutefois, on a la conviction que les UV sont au moins un facteur conduisant à l'apparition de la cataracte.

Des recherches expérimentales pratiquées sur des animaux ont d'ailleurs clairement établi que les UVB (mais pas les UVA) provoquaient une opacification des yeux des animaux. À cet égard, le rayonnement UV aux alentours de 300 nm était le plus opérant. Il semble que le seuil soit une dose de 1 500 J/m2.

4.1.3 Lésions indirectes

Les rayonnements UV avec des longueurs d'ondes plus courtes que 250 nm produisent de l'ozone par une réaction photochimique avec les molécules d'oxygène contenues dans l'air. Cet ozone peut se lier avec les molécules d'azote de l'air, dégageant alors des oxydes d'azote. Tant l'ozone que ces oxydes d'azote sont dangereux pour la santé car ils irritent le système respiratoire.

Lorsque les rayonnements UV entrent en contact avec une atmosphère contenant des vapeurs de trichloréthylène ou de tétrachloroéthylène, cela peut libérer, par décomposition, du phosgène, un gaz hautement toxique.

4.2 Rayonnement visible

L'œil est ainsi conçu qu'il se protège lui-même contre les rayonnements optiques de l'environnement naturel. Grâce au réflexe d'aversion (fermer les yeux, rétrécir les pupilles, détourner la tête), la durée d'exposition à une lumière très vive se limite à moins d'un quart de seconde. Ce réflexe nous empêche de regarder des sources de lumière vive, telles que le soleil, un arc de soudure ou des lampes puissantes.

Les interactions des rayonnements visibles avec les tissus sont de nature soit photochimique, soit thermique:

- Lésion thermique à la rétine par des longueurs d'ondes de 380 à 780 nm.
- Lésion photochimique rétinienne associée à la lumière bleue d'une longueur d'onde allant essentiellement de 380 à 550 nm.
- Lésion thermique de la peau par des longueurs d'ondes de 380 à 780 nm.
- Lésion photosensitive de la peau, provoquée essentiellement par les ultraviolets, pouvant parfois se produire jusqu'à environ 700 nm comme effet secondaire de certaines médications.

En ce qui concerne l'effet photochimique, c'est la valeur de la dose (intensité d'exposition x durée d'exposition) qui détermine l'ampleur de la lésion. En l'absence d'ultraviolets, on ne considère pas que l'individu coure un risque de cancer de la peau.

La lésion thermique dépend fortement de la conduction thermique du tissu. Pour provoquer une coagulation du tissu en quelques secondes, il faut des rayonnements très intenses. Lorsque l'exposition est moins forte, la chaleur est évacuée de la surface exposée par le tissu environnant. Normalement, les brûlures n'apparaissent qu'à partir d'une température de 44,5 °C. Les petites surfaces pouvant être plus facilement rafraîchies que les zones plus étendues, il faudra des rayonnements plus importants pour obtenir le même effet sur les petites surfaces. Par conséquent, pour fixer les limites d'exposition, il faut tenir compte à la fois de la durée d'exposition et de la surface exposée.

La photorétinite constitue la lésion la plus grave contractée en regardant une lumière vive comme le soleil, par exemple (rétinite solaire, accompagnée de taches aveugles). Cette photorétinite est essentiellement provoquée par les fréquences de la lumière bleue et violette (380 – 520 nm), raison pour laquelle elle est également appelée «photorétinite de lumière bleue». L'effet spectral relatif causant cette lésion est situé au niveau du spectre d'action de la photorétinite ou de la lumière bleue.

Ce sont les longueurs d'ondes supérieures à 600 – 700 nm qui provoquent les lésions thermiques les plus sérieuses. À ces fréquences, des durées d'exposition de plus de 10 secondes suffisent généralement à causer un échauffement.

Il est rare que des sources autres que le laser causent des lésions thermiques cutanées; cela dépend en grande partie de la température initiale de la peau et de l'importance de la source. Il faut des rayonnements très puissants pour provoquer des lésions avant que la douleur se fasse sentir (le temps de réaction à la douleur est inférieur à 1 seconde). Dans un contexte de travail, on interrompra l'exposition le plus rapidement possible, de sorte que le risque de lésion réelle est ténu. Le risque n'existe qu'en cas de rayonnements très intenses ou pulsés.

4.3 Rayonnements infrarouges

Les rayonnements infrarouges (IR) ne font que transmettre l'énergie thermique (rayonnement thermique) au niveau de la peau et des yeux. Les rayons IR n'exerçant aucun effet photochimique, ils ne provoqueront qu'un échauffement local et, éventuellement, général. Ils jouent également un rôle dans les conditions climatiques sur le lieu de travail.

4.3.1 Au niveau de la peau

A. Pénétration et absorption

Les rayonnements infrarouges qui atteignent la peau sont partiellement réfléchis et partiellement absorbés.

L'ampleur de la réflexion dépend de la pigmentation et de l'irrigation sanguine de la peau. Elle varie en fonction de la longueur d'ondes des rayonnements IR incidents. L'absorption et la pénétration des rayonnements infrarouges dans la peau ne dépendent pas uniquement de la pigmentation et de l'irrigation sanguine de la peau. La structure de la peau joue également un rôle à ce niveau. Le maximum de pénétration a lieu à une longueur d'ondes d'environ 1,2 micromètre.

Environ 50 % des rayonnements pénètrent jusqu'à 0,8 mm de profondeur et peuvent donc interagir avec les terminaisons nerveuses et les vaisseaux sanguins.

La longueur d'onde des rayonnements IR module également l'effet de l'exposition aux IR sur la peau. Les IRA sont potentiellement plus dangereux que les IRB et IRC car ils pénètrent plus profondément et peuvent provoquer ainsi davantage de lésions. Les IRB et IRC n'entraînent qu'un réchauffement superficiel mais, du fait de leur plus grande capacité d'absorption, ces rayons peuvent alors provoquer des problèmes au niveau de la régulation de la température corporelle (échauffement).

B. Échauffement de la peau

Il est évident que la perception de la chaleur est inversement proportionnelle à la profondeur de pénétration de l'énergie électromagnétique. Dans le cas des infrarouges, le seuil de perception et de douleur est donc plus bas que dans le cas des micro-ondes. Ceci provient du fait que les nerfs sensitifs sont davantage présents dans la peau que sous celle-ci. Si les rayons ne pénètrent pas en profondeur, ce sont ces nerfs qui seront plus fortement touchés. Dans les deux cas, des valeurs élevées peuvent être supportées pendant un court instant. Toutefois, il y a des limites. Il faut en effet limiter l'énergie totale et la puissance maximale.

En cas d'exposition limitée du bras aux infrarouges, les valeurs suivantes sont observées:

20 mW/cm²	Perception
200 mW/cm²	Seuil de sensibilité à la douleur
>1 W/cm²	Brûlure

Les symptômes constatés en cas d'exposition excessive aux rayonnements IR (douleur, dilatation des vaisseaux sanguins cutanés et brûlures) sont essentiellement dus à la composante IRA.

La douleur survient lorsque la température de la peau atteint les 44,5 °C (± 1,3 °C). Physiologiquement, le seuil de douleur dépend uniquement de la température de la peau et non de la rapidité d'échauffement ou du gradient de température sous la peau. Si la température augmente, la douleur augmentera aussi. En cas de température supérieure à 44-45°C, de l'érythème apparaît également. La dégradation des tissus (brûlures) commence à des températures de 46 à 47°C. Le degré de dété-

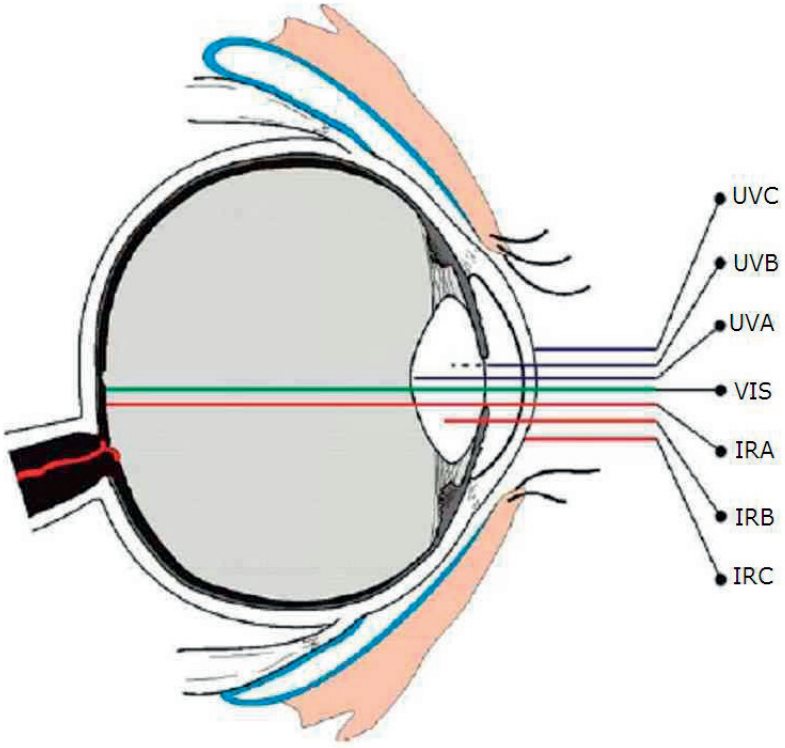
rioration dépend de la température cutanée et de la durée de la période hyperthermique. Si la température de la peau dépasse le seuil de 70 °C, la plupart des systèmes enzymatiques seront détruits.

Il est évident que les lésions tissulaires ne se produisent que rarement dans un environnement industriel: dès qu'une douleur est perçue, l'exposition est interrompue. En cas d'exposition chronique, on constate l'apparition de rougeurs et une augmentation de la pigmentation de la peau. On peut également voir apparaître, dans ces conditions, une inflammation chronique du contour de la paupière. Le visage érythémateux de certains souffleurs de verre et fondeurs peut être considéré comme le résultat de l'effet chronique d'une exposition aux IR.

4.3.2 Au niveau des yeux

Étant donné que les rayons infrarouges vont généralement de pair avec les rayonnements visibles, plusieurs mécanismes de protection tels que le clignement des yeux (fermeture et humidification) et le réflexe pupillaire (rétrécissement des pupilles) permettent de limiter les rayonnements IR qui pénètrent dans l'œil.

Toutefois, certaines applications industrielles peuvent générer des rayons IR sans lumière visible. Ces mécanismes de réflexe ne sont alors pas activés.



Pénétration des rayonnements optiques dans l'œil (Source: Health Protection Agency)

A. Effet sur la cornée

Des rayonnements IRC de forte intensité peuvent provoquer un échauffement de la cornée (la couche extérieure de l'œil), qui se traduit immédiatement par des douleurs. Dans de telles circonstances, le réflexe est de fermer les yeux et de détourner la tête pour éviter des effets plus graves (une brûlure, par exemple). Si de tels effets se produisent malgré tout, ils guérissent généralement sans laisser de séquelles. L'échauffement peut accélérer l'évaporation du liquide lacrymal, donnant l'impression d'avoir les yeux secs. La conjonctivite peut éventuellement faire son apparition.

B. Effet sur le cristallin

Les rayonnements IRA peuvent parvenir jusqu'à l'iris et au cristallin. Les ondes les plus courtes pénètrent même jusqu'à la rétine. Les effets de l'exposition aux IR se font principalement sentir au niveau du cristallin.

Une exposition pendant de nombreuses années (chez les verriers, par exemple) peut provoquer la cataracte. Il s'agit d'une opacification du cristallin, rendant la vue voilée et imprécise. La cataracte est due à l'échauffement du cristallin et des zones avoisinantes, comme l'iris. La cataracte due à la chaleur en milieu industriel ne se déclare généralement qu'après une exposition de 20 ans (ou plus) et a été reconnue comme maladie professionnelle.

4.4 Rayonnements laser

4.4.1 Risques biologiques

Les effets biologiques des rayonnements laser sont, pour l'essentiel, identiques aux effets provoqués par les rayonnements ultraviolets, visibles et infrarouges (en fonction de la fréquence). La distinction repose principalement sur l'intensité nettement supérieure des rayonnements laser, qui découle de l'énorme concentration d'énergie sur une petite surface. Généralement, le diamètre des faisceaux laser ne mesure que quelques millimètres, de sorte que la densité de puissance et d'énergie par unité de surface est très élevée.

L'effet des rayonnements laser sur un tissu est également déterminé par la fréquence et la capacité d'absorption du tissu exposé. Lorsque la longueur d'onde est élevée, le pourcentage d'énergie absorbée diminue tandis que le pourcentage d'énergie réfléchie augmente. La chaleur à laquelle le tissu est confronté est moindre dans le cas des infrarouges que dans le cas des ultraviolets. Cela ne signifie pas pour autant que les lasers infrarouges engendrent nécessairement un risque moindre. Ces lasers développent, au contraire, les puissances les plus fortes.

La lésion cellulaire provoquée par les rayonnements laser dépend de la profondeur de pénétration du rayon et de l'absorption d'énergie des différents composants cellulaires. Il y a plusieurs mécanismes d'apparition de lésions:

- Les rayonnements laser sont convertis en chaleur, qui peut dénaturer les protéines. Une absorption rapide et localisée de chaleur peut faire bouillir l'eau contenue dans les cellules et les faire éclater.
- Réactions photochimiques: activation des molécules via l'absorption de quanta d'énergie, ce qui pourrait générer des radicaux libres, qui endommagent la membrane cellulaire.
- Apparition d'une onde de compression thermo-acoustique pouvant déchirer les tissus et pouvant également projeter alentour les tissus superficiels sous un panache de fumée.

Ces réactions physiques sont suivies par des réactions biologiques du tissu. Une action physique différente peut provoquer une même réaction biologique. Ainsi, le type de réaction biologique ne suffit pas à identifier la cause physique.

4.4.2 Risques oculaires

Les risques pour les yeux dépendent de la longueur d'onde, du temps d'exposition, de la puissance ou de l'énergie, du diamètre du rayon laser et de celui de la pupille.

A. Longueur d'onde

Les rayonnements avec une fréquence située entre 400 et 1 400 nanomètres se focalisent sur la rétine, tandis que les longueurs d'ondes restantes sont absorbées par d'autres structures oculaires.

Les rayons ultraviolets C et B (de 280 à 315 nanomètres) sont absorbés par la cornée et les ultraviolets A (de 315 à 400 nanomètres) le sont essentiellement par le cristallin.

Les rayonnements visibles (400 à 760 nanomètres) sont focalisés sur la rétine. C'est ici qu'intervient le réflexe naturel consistant à fermer les paupières, limitant ainsi la durée d'exposition à 0,25 secondes.

Les infrarouges A (de 760 à 1 400 nanomètres) se focalisent également sur la rétine. Toutefois, ici, aucun réflexe de fermeture ne se produit car il n'y a pas de sensation d'éblouissement. Par conséquent, lorsque l'œil ressent une gêne, la lésion est déjà présente.

Les infrarouges B (de 1 400 à 3 000 nanomètres) sont principalement absorbés à hauteur de la cornée: le reste à hauteur du globe oculaire et de la rétine.

Les rayons infrarouges C (de 3 000 nanomètres à 1 millimètre) sont totalement absorbés par la cornée.

Lors de la focalisation sur la rétine, seuls 5% des rayonnements sont utilisés pour la vision. La majeure partie des rayons est absorbée par l'épithélium pigmentaire et la choroïde, située sous la rétine. L'énergie absorbée est convertie en chaleur. Ce réchauffement de l'épithélium va également brûler les bâtonnets et les cônes qui servent à la vision. Cela donnera, par la suite, une tache aveugle (scotome). Tout d'abord apparaît une tache blanche qui noircit après quelques semaines et disparaît finalement par adaptation. Le plus souvent, les lésions endommagent la capacité visuelle si elles touchent la fovéa centralis. Si les lésions sont périphériques, elles ne seront constatées que si elles sont suffisamment importantes. Les facteurs individuels jouent également un rôle dans la dégradation (taille de la pupille, pigmentation de la rétine). L'amblyopie et la myopie constituent des risques supplémentaires.

B. Durée d'exposition

Plus la durée d'exposition s'allonge, plus le risque et la gravité de la lésion oculaire augmentent. Dans le cas des rayonnements visibles, la durée d'exposition est limitée grâce au réflexe naturel de fermeture des yeux.

C. Puissance, énergie et diamètre du rayon laser

Ces facteurs déterminent la puissance de rayonnement ou la charge calorifique exercée par le rayon laser sur l'œil.

D. Diamètre de la pupille

Le diamètre de la pupille peut varier de 2 mm (environnement lumineux) à 7 mm (environnement obscur). L'image qui se forme sur la rétine, lors de l'incidence d'un faisceau lumineux parallèle, a une taille plus ou moins constante et un diamètre d'environ 10 micromètres. Cela signifie que, plus l'ouverture de la pupille est grande, plus le risque de développer une lésion augmente en cas de rayonnement laser incident. C'est pour cette raison que, dans une analyse de risques, on prend toujours en considération le diamètre maximal de la pupille, soit 7 mm.

4.4.3 Risques pour la peau

L'absorption de la chaleur par la peau se traduit par une augmentation de la température, pouvant conduire à la formation de brûlures. Les effets de l'exposition de la peau ne dépendent pas uniquement de la longueur d'onde, de l'intensité et de la durée du rayonnement, mais également de la pigmentation de la peau, de la circulation sanguine (dans les endroits bien irrigués, l'énergie calorifique est rapidement évacuée) et de la surface exposée. Sur de petites surfaces, la chaleur s'évacue plus facilement et il faut une plus grande intensité de rayons pour provoquer l'apparition de brûlures.

Dans une étude dans laquelle deux échantillons de peau de 2 centimètres carrés avaient été exposés au rayonnement pendant une demi-seconde, on a observé les valeurs suivantes:

- Brûlures du premier degré (rougeur superficielle de la peau) à partir de 12 W/cm^2.
- Brûlures du deuxième degré (formation de cloques): à partir de 24 W/cm^2.
- Brûlures du troisième degré (destruction de la couche extérieure de la peau): à partir de 34 W/cm^2.

4.4.4 Accidents provoqués par des lasers

Divers accidents sont décrits dans la littérature.

Une étude se penche sur 29 cas de lésions oculaires dues à une exposition aux rayons laser. Parmi ces accidents, 28 se sont produits pendant les processus d'alignement et d'adaptation du laser. Dans 25 cas, la macula a été endommagée.

Une autre étude décrit 3 cas de lésions oculaires chez des ingénieurs, causées par un laser YAG dans un laboratoire de recherches. Deux d'entre eux ont développé un scotome définitif.

Une autre étude encore décrit 5 accidents survenus dans un même laboratoire de recherches. Dans 3 cas, on a constaté des saignements aussi bien dans la rétine, la choroïde que dans le corps vitré. Deux des personnes concernées ont développé des scotomes et ont récupéré après quelques semaines. Chez la dernière, on a noté une baisse définitive de l'acuité visuelle. Dans un cas, on a également observé une brûlure au doigt. Un autre accident est resté sans conséquence.

On fait également état d'accidents lors de l'utilisation de lasers en médecine. Une étude décrit 13 accidents lors de l'utilisation de lasers en chirurgie. Dans deux cas, on a constaté des brûlures aux deuxième et troisième degrés; dans un cas, la blouse du chirurgien a brûlé et dans un autre cas, le tube endotrachéal du patient a été perforé.

5. Réglementation sur les rayonnements optiques artificiels

Les dispositions de l'arrêté royal du 22 avril 2010 sont, en grande partie, reprises de la directive européenne 2006/25/CE du Parlement européen et du Conseil du 5 avril 2006 relative aux prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (rayonnements optiques artificiels) et elles ont été complétées en certains points. Cette règlementation est reprise dans le Code du bien-être au travail.

5.1 Chapitre I: champ d'application et définitions

Rayonnements optiques: tous les rayonnements électromagnétiques d'une longueur d'onde comprise entre 100 nanomètres [nm] et 1.000.000 nm (ou 1 millimètre [mm]), et qui se subdivisent comme suit:

Rayonnements ultraviolets: UVC: λ= de 100 nm à 280 nm
UVB: λ= de 280 nm à 315 nm
UVA: λ= de 315 nm à 400 nm

Rayonnements visibles: λ= de 380 nm à780 nm[1]

Lumière bleue: λ= de 400 nm à 490 nm

Dangers de la lumière bleue: danger lié aux rayonnements compris entre λ=300 nm et 700 nm. Cette gamme couvre une partie des UVB, tous les UVA et la plupart des rayonnements visibles et le spectre considéré est donc plus large que celui de la lumière bleue.

Rayonnements infrarouges: IRA: λ= de 780 nm à 1400 nm
IRB: λ= de 1400 nm à 3000 nm
IRC: λ= de 3000 nm à 1 mm

Laser: amplification de lumière par une émission stimulée de rayonnements: tout dispositif susceptible de produire ou d'amplifier des rayonnements électromagnétiques de longueur d'onde correspondant aux rayonnements optiques, essentiellement par le procédé de l'émission stimulée contrôlée.

Rayonnements incohérents: tous les rayonnements optiques autres que les rayonnements laser.

Valeurs limites d'exposition (VLE): les limites d'exposition aux rayonnements optiques qui sont fondées directement sur des effets avérés sur la santé et des considérations biologiques.

Eclairement énergétique (densité de puissance) E [W/m²]: puissance rayonnée incidente par unité de surface.

Exposition énergétique H [J/m²]: intégrale de l'éclairement énergétique par rapport au temps.

Luminance énergétique L [W/(m².sr)]: puissance rayonnée par unité de surface et par unité d'angle solide.

Niveau: combinaison de E, H et L à laquelle est exposé un travailleur.

Longueur d'onde du rayonnement: λ

1. Les rayonnements ultraviolets et visibles se chevauchent dans la gamme comprise entre Ð=380 nm et 400 nm.

2. CEI: Commission électrotechnique internationale

3. CIE: Commission internationale de l'éclairage

4. CEN: Comité européen de normalisation

5.2 Chapitre II: valeurs limites d'exposition

Les valeurs limites d'exposition pour les rayonnements incohérents sont fixées à l'annexe I, celles pour les rayonnements cohérents (rayonnements laser) sont fixées à l'annexe II du livre V, titre 6 (voir ci-après).

5.3 Chapitre III: analyse des risques

Comme le stipule le livre Ier, titre 2 du Code du bien-être au travail sur les principes généraux relatifs à la politique du bien-être, les mesures de prévention générales doivent être respectées et l'analyse des risques doit être effectuée.

L'employeur évalue et, si nécessaire, mesure et/ou calcule les niveaux de rayonnement optique auxquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés. La méthodologie employée pour cela doit être conforme aux normes de la CEI[2] relative aux rayonnements laser et aux recommandations de la CIE[3] et du CEN[4] en ce qui concerne les rayonnements incohérents. Lorsque se présentent des situations d'exposition qui ne sont pas couvertes par ces normes et recommandations, les calculs et les mesures doivent être effectués sur la base des directives nationales et internationales disponibles, et ce jusqu'à ce que des normes ou recommandations appropriées soient disponibles au niveau de l'Union européenne. Lors de l'évaluation, l'employeur peut tenir compte des données fournies par les fabricants des équipements de travail.

L'évaluation, les calculs et/ou le mesurage doivent être programmés et effectués à une fréquence appropriés par le service interne ou externe pour la prévention et la protection au travail et doivent

être conservés afin d'en permettre la consultation à une date ultérieure. Le comité pour la prévention et la protection au travail rend un avis préalable à ce sujet.

Au cas où le Service interne ou externe pour la Prévention et la Protection au Travail ne possède pas la compétence nécessaire, l'employeur fait appel à un laboratoire agréé pour le mesurage des rayonnements optiques artificiels.

Dans le cadre de l'analyse des risques, l'employeur doit prêter une attention particulière aux éléments suivants:

- le niveau, le domaine des longueurs d'onde et la durée de l'exposition;
- les valeurs limites d'exposition;
- les conséquence possibles pour la santé et la sécurité des travailleurs appartenant à des groupes à risques particulièrement sensibles;
- les incidences éventuelles sur la santé et la sécurité des travailleurs résultant d'interactions entre des rayonnements optiques et des substances chimiques photosensibilisantes;
- les effets indirects possibles tel qu'un aveuglement temporaire, une explosion ou un incendie;
- l'existence d'équipements de remplacement conçus pour réduire les niveaux d'exposition à des rayonnements optiques artificiels;
- les informations appropriées recueillies lors de la surveillance de la santé et les informations publiées;
- l'exposition possible à différentes sources;
- le classement des lasers et sources artificielles susceptibles de provoquer des lésions similaires à celles provoquées par les lasers de classe 3B et 4;
- les informations fournies par les fabricants de sources de rayonnements optiques, conformément à l'arrêté royal du 12 août 2008 concernant la mise sur le marché des machines.

Comme pour les autres équipements de travail, l'employeur doit disposer d'une analyse des risques, régulièrement mise à jour si nécessaire, et qui mentionne les mesures prises conformément au présent arrêté royal.

En l'absence d'une analyse des risques détaillée, l'employeur doit fournir une justification écrite, dans laquelle il démontre que les risques liés au type de rayonnements optiques et le niveau de ces derniers rendent cette analyse des risques inutile.

L'employeur adapte les mesures aux exigences relatives aux travailleurs appartenant à des groupes à risques particulièrement sensibles.

5.4 Chapitre IV: dispositions visant à éviter ou à réduire les risques

Les risques doivent être éliminés ou réduits au minimum en tenant compte des progrès techniques et de la possibilité de prendre des mesures pour maîtriser ces risques à la source. La réduction de ces risques spécifiques doit se faire, comme pour les autres risques, selon les principes généraux de prévention[5].

Lorsque l'analyse des risques effectuée indique la moindre possibilité de dépassement des valeurs limites d'exposition, l'employeur établit et met en oeuvre un plan d'action comportant des mesures techniques et/ou organisationnelles destinées à prévenir ce dépassement, en tenant compte notamment des éléments suivants:

- des méthodes de travail alternatives;
- le choix d'équipements de travail différents;
- des mesures techniques visant à réduire l'émission par l'utilisation de dispositifs de verrouillage, de blindage ou de mécanismes similaires;
- des programmes appropriés de maintenance des équipements de travail, du lieu de travail et des postes de travail;
- la conception et l'agencement des lieux et des postes de travail;
- la limitation de la durée et du niveau de l'exposition;
- la disponibilité d'équipements de protection individuelle appropriés;
- les instructions fournies par le fabricant des équipements conformément à l'arrêté royal du 12 août 2008 concernant la mise sur le marché des machines.

Les lieux de travail, où les travailleurs pourraient être exposés à des niveaux de rayonnement dépassant les valeurs limites d'exposition, doivent être indiqués par une signalisation adéquate[6]. Ces zones doivent être circonscrites et, lorsque cela est techniquement possible, leur accès limité.

L'exposition du travailleur à des rayonnements ne peut en aucun cas dépasser les valeurs limites d'exposition. Si, malgré les mesures prises, ces valeurs limites sont dépassées, l'employeur doit immédiatement:

- prendre des mesures pour réduire l'exposition à un niveau inférieur aux valeurs limites;

5. Principes généraux de prévention tels que prévus dans la directive 89/391/CEE, transposée dans la législation belge et reprise dans le Code du bien-être au travail.

6. Conformément au livre III, titre 6 du Code du bien-être au travail concernant la signalisation de sécurité et de santé

- déterminer les causes du dépassement des valeurs limites d'exposition;
- adapter les mesures de protection et de prévention afin d'éviter tout nouveau dépassement des valeurs limites.

5.5 Chapitre V: information et formation des travailleurs

L'employeur veille à ce que les travailleurs concernés et le comité de prévention et de protection reçoivent les informations et la formation nécessaires, notamment en ce qui concerne:

- les mesures prises en application du présent arrêté;
- les valeurs limites d'exposition et les risques potentiels associés;
- les résultats de l'évaluation, des calculs et/ou de la mesure des niveaux d'exposition, ainsi que les explications sur leur signification et sur les risques potentiels;
- la manière de dépister les effets nocifs d'une exposition sur la santé et de les signaler;
- les conditions dans lesquelles les travailleurs ont droit à une surveillance de la santé;
- les pratiques professionnelles sûres permettant de limiter les risques;
- l'utilisation adéquate des équipements de protection individuelle appropriés.

5.6 Chapitre VI: consultation et participation des travailleurs

La consultation et la participation des travailleurs ont lieu conformément aux dispositions du livre II, titre 7 du Code du bien-être au travail relatif aux missions et au fonctionnement des comités pour la prévention et la protection au travail.

5.7 Chapitre VII: surveillance de la santé

Les travailleurs qui sont exposés à des rayonnements optiques sont soumis à une surveillance appropriée de la santé, en vue de prévenir et diagnostiquer en temps opportun tout effet néfaste pour la santé et de prévenir les risques à long terme et les maladies chroniques.

Si les résultats de l'analyse des risques ne révèlent pas de risques pour la santé des travailleurs, la surveillance de santé portant sur les rayonnements optiques n'est pas nécessaire.

Cette surveillance de la santé est appropriée lorsque:

- on peut établir un lien entre l'exposition et une maladie identifiable ou des effets nocifs pour la santé;
- il est probable que la maladie ou les effets surviennent dans les conditions de travail particulières du travailleur;
- il existe des techniques éprouvées permettant de déceler la maladie ou les effets nocifs pour la santé.

Cette surveillance appropriée de la santé est effectuée selon les dispositions du livre Ier, titre 4 du Code du bien-être au travail relatif à la surveillance de santé des travailleurs.

En cas d'exposition dépassant les valeurs limites, le travailleur concerné est soumis à un examen médical. Cette disposition va plus loin que ce qui est prévu dans la directive européenne. La directive stipule en effet uniquement que le travailleur doit être autorisé à subir un examen médical.

Cet examen médical est également effectué lorsqu'il apparaît que le travailleur souffre d'une maladie identifiable ou d'effets préjudiciables à sa santé et que le conseiller en prévention-médecin du travail estime que cette maladie ou ces effets résultent de l'exposition.

Dans les deux cas:

- le travailleur est informé par le conseiller en prévention-médecin du travail des résultats; il bénéficie notamment d'informations et de conseils relatifs à la surveillance de santé à laquelle il doit se soumette à l'issue de l'exposition;
- l'employeur est informé des éléments significatifs qui ressortent de la surveillance de santé, dans le respect des exigences en matière de secret médical;
- l'employeur doit
  - o réexaminer l'analyse des risques effectuée;
  - o réexaminer les mesures qu'il a adoptées pour éliminer ou réduire les risques;
  - o prendre en compte l'avis du conseiller en prévention-médecin du travail ou de toute autre personne dûment qualifiée ou du fonctionnaire chargé de la surveillance;

- o mettre en place une surveillance de santé continue de ce travailleur et évaluer l'état de santé de tous les autres travailleurs. Dans de tels cas, le conseiller en prévention-médecin du travail ou le fonctionnaire chargé de la surveillance peuvent proposer que les autres travailleurs exposées soient soumis à une surveillance de santé.

5.8 Chapitre VIII: dispositions finales

Dans le Règlement général pour la protection du travail, dans l'annexe II au titre II, chapitre III, section I, sous-section II "Surveillance médicale des travailleurs exposés au risque de maladies professionnelles", dans le groupe II "Liste des agents physiques susceptibles de provoquer des maladies professionnelles", le point 2.9 "Ondes Laser" est abrogé.

5.9 Annexe I: rayonnements optiques incohérents

Les valeurs d'exposition aux rayonnements optiques qui sont pertinentes d'un point de vue biophysique peuvent être calculées au moyen de différentes formules. La formule à utiliser dépend du domaine spectral des rayonnements émis par la source. Les résultats doivent être comparés avec les valeurs limites d'exposition correspondantes qui figurent dans le tableau V.6-1 de ce titre. Ce n'est que dans ce tableau que l'on prend en compte le temps d'exposition. Etant donné qu'une source de rayonnements peut émettre dans un large spectre, il y a plus d'une valeur d'exposition, et donc plus d'une limite d'exposition correspondante, qui peuvent être pertinentes.

Sept formules sont applicables dans des domaines de longueur d'onde différents, mais qui se chevauchent parfois, et donnent l'un des paramètres suivants, à comparer aux valeurs limites du tableau 1.1:
H: Exposition énergétique [J/m²] pour les UVA, (dose efficace ou dose cutanée)
L: Luminance énergétique efficace [W/(m².sr)] pour la lumière bleue
E: Eclairement énergétique, densité de puissance [W/m²] pour la lumière bleue ou les rayonnements infrarouges

Les formules ne sont rien d'autre que l'intégrale de la densité de puissance E ou de la luminance énergétique efficace L des rayonnements dans le domaine de longueur d'onde considéré et envisagent également la pondération spectrale du rayonnement. Cette pondération spectrale est un nombre sans dimension qui tient compte du rapport entre la longueur d'onde et les effets sur la santé.

Selon le type de rayonnement, la pondération spectrale (fonction de λ) est:
S (λ): effets sanitaires des rayonnements ultraviolets sur les yeux et la peau, avec une valeur maximale de 1 si λ=270 nm et une valeur proche de zéro aux extrémités du spectre ultraviolet (λ=180 nm et 400 nm) avec une évolution telle qu'illustrée dans le tableau 1.2 du titre.
B (λ): lésion photochimique de l'œil provoquée par une lumière bleue, avec une valeur maximale de 1 pour 437,50 nm et une valeur proche de zéro à la limite inférieure (λ=380 m) et pour les longueurs d'ondes supérieures à λ=700 nm et une évolution telle qu'illustrée dans le tableau 1.3 du titre.
R (λ): lésion de l'œil par effet thermique provoquée par des rayonnements visibles et IRA (lésion thermique), avec une valeur égale à 10 fois celle de B (λ) dans le domaine compris entre 380 nm et 500 nm. Au-delà de cette longueur d'onde, la valeur tombe à 0,02 si λ=1400 nm. L'évolution est décrite dans le tableau 1.3 du titre. La valeur limite est donc atteinte 10 fois plus rapidement pour des rayonnements visibles et IRA que pour la lumière bleue.

5.10 Annexe II: rayonnements optiques laser

Les valeurs d'exposition aux rayonnements optiques qui sont pertinentes d'un point de vue biophysique peuvent être calculées au moyen de différentes formules. La formule à utiliser dépend de la longueur d'onde λ et de la durée d'exposition aux rayonnements émis par la source. Les résultats doivent être comparés aux valeurs limites d'exposition correspondantes qui figurent dans les tableaux 2.2 à 2.4 inclus du livre V, titre 6. Etant donné qu'une source peut émettre dans un large spectre, il y a plus d'une valeur d'exposition, et donc plus d'une valeur limite correspondante, qui peuvent être applicables.

Les paramètres suivants sont calculés et doivent être comparés aux valeurs des tableaux 2.2 à 2.4 inclus:
E: éclairement énergétique [W/m²]
H: exposition énergétique [J/m²]: l'intégrale de E par rapport au temps

Les tableaux indiquent la valeur limite en fonction de la longueur d'onde et du temps d'exposition
- de l'œil pour une exposition de courte durée (<10 s)
- de l'œil pour une exposition de longue durée (>10 s)
- de la peau

A cet égard, il convient de noter que:

- sauf quand λ est compris entre 400 nm et 1400 nm, les mêmes valeurs limites sont en vigueur pour l'exposition de la peau et des yeux;
- si à une longueur d'onde ou à un autre paramètre du laser, correspondent deux valeurs limites différentes, c'est la plus restrictive qui est d'application.

La correction pour l'exposition répétitive (systèmes pulsés ou de balayage) est donnée dans le tableau 2.6.[7]

A noter que:

- chaque impulsion unique ne peut pas dépasser la valeur limite d'exposition;
- un groupe d'impulsions délivrées en un temps donné ne peut pas dépasser la valeur limite d'exposition pour ce temps;
- aux fins de protection contre des lésions thermiques, chaque impulsion unique au sein d'un groupe de N impulsions doit être inférieure à la valeur limite d'exposition pour une impulsion unique multipliée par un facteur de correction thermique cumulée N-0,25.

7. Le tableau 2.5 du livre V, titre 6, que nous n'approfondirons pas ici, porte sur les facteurs de correction appliqués et autres paramètres de calcul.

6. Evaluation des risques

6.1 Evaluation des risques

L'employeur doit effectuer une évaluation des risques. L'évaluation tient compte du niveau, des domaines de longueur d'onde et de la durée de l'exposition. En outre, il faut veiller aux effets sur la santé et la sécurité des travailleurs en général ainsi que de ceux appartenant à un groupe à risque particulièrement sensible. L'analyse des risques doit également faire attention aux effets indirects éventuels comme l'aveuglement temporaire, l'incendie ou l'explosion. Il est, en outre, primordial de se rendre compte que les travailleurs peuvent être exposés à diverses (sortes de) sources (simultanément ou successivement).

L'information obtenue de la surveillance de santé est une source importante pour adapter l'analyse des risques.

Si l'analyse fait apparaître que des mesures sont nécessaires, celles-ci doivent être prises pour limiter l'exposition aux limites fixées.

Les évaluations, mesurages et calculs doivent être effectués par des experts et les données doivent être conservées afin de permettre leur consultation ultérieure.

Comme le veulent les mesures générales de prévention, il faut appliquer ici aussi les principes de l'approche axée sur la source et ce dans l'ordre suivant:

1. élimination de l'exposition;
2. si l'élimination n'est pas possible, il convient de minimaliser l'exposition;
3. de plus, il faut éviter des expositions répétées.

S'il apparaît toutefois que les valeurs limites d'exposition sont dépassées, l'employeur doit alors établir un plan d'action qui comprend des règles techniques et organisationnelles. Le plan d'action peut comprendre les points suivants:

- méthodes de travail alternatives qui réduisent le risque;
- autre aménagement du lieu de travail;
- choix d'autres équipements de travail qui émettent moins de rayonnements;
- mesures techniques qui limitent l'émission (blindage, verrouillage…);
- limitation de la durée et du niveau de rayonnement;
- prévoir des équipements de protection individuelle.

Une signalisation adéquate doit être placée aux endroits où les travailleurs pourraient être exposés à des rayonnements dépassant les valeurs limites. Les zones doivent être délimitées et l'accès à ces zones doit être restreint.

Il est très important de noter que les valeurs limites, auxquelles il faut confronter l'évaluation des risques, sont basées sur des effets temporaires de l'exposition. Les effets chroniques et secondaires, l'exposition des individus photosensibles et l'exposition pendant les loisirs ne sont pas pris en compte ici.

Les 'valeurs limites d'exposition' (VLE) sont des limites d'exposition aux rayonnements, qui sont directement basées sur des effets avérés pour la santé et des données biologiques.

Le respect de ces limites garantit que des travailleurs exposés aux rayonnements sont protégés contre tous les effets nocifs connus pour la santé.

Les 'valeurs déclenchant l'action' sont des limites qui sont des paramètres directement mesurables, exprimés sous forme d'éclairement énergétique (E), d'exposition énergétique (H) et de densité de puissance (S). Le respect de ces valeurs garantit que les valeurs limites d'exposition applicables n'ont pas été dépassées. Les valeurs déclenchant l'action sont, dès lors, toujours inférieures aux valeurs limites.

L'employeur doit évaluer et, si nécessaire, mesurer et/ou calculer les niveaux de rayonnement optique auxquels les travailleurs seront vraisemblablement exposés.

Si les valeurs déclenchant l'action sont dépassées, l'employeur détermine et, si nécessaire, calcule, sur base de l'évaluation du niveau des rayonnements, si les valeurs limites d'exposition ont également été dépassées.

La réglementation sur les rayonnements optiques artificiels ne prévoit pas de valeurs d'action.

L'évaluation, le mesurage et/ou le calcul sont planifiés de façon experte et sont effectués selon une fréquence appropriée par des personnes ou services experts compétents.

Lors de l'évaluation des risques, l'employeur accorde une attention particulière aux éléments suivants:

a) le niveau, le spectre de fréquence, la durée et la nature de l'exposition;
b) les valeurs limites d'exposition et les valeurs déclenchant l'action;
c) les incidences éventuelles sur la santé et la sécurité des travailleurs qui courent un risque particulier;

d) les effets indirects tels que
   i) l'interférence avec d'autres appareils et instruments électroniques;
   ii) l'activation de moyens d'allumage électriques (détonateurs);
   iii) les incendies et les explosions à la suite de la combustion de matériel inflammable due aux rayonnements;
e) l'existence d'équipements de travail de remplacement conçus pour réduire les niveaux d'exposition aux rayons;
f) l'information pertinente obtenue via la surveillance de santé, y compris l'information publiée, dans la mesure du possible;
g) l'exposition à plusieurs sources avec les mêmes rayonnements;
h) l'exposition simultanée à différentes sortes de rayonnements.

L'évaluation des risques est régulièrement mise à jour et certainement lorsque des changements importants susceptibles de la rendre obsolète sont intervenus ou lorsque les résultats de la surveillance de santé en démontrent la nécessité.

Un inventaire des équipements de travail doit être établi et, outre les données standard comme le nom, la marque, l'année de construction, le lieu d'utilisation... il faut mentionner la puissance, le spectre de fréquence (ou spectre de longueurs d'onde), la durée de l'exposition… et, s'il s'agit d'un laser, sa classe. C'est sur cette base que l'on inventorie les risques. Cet inventaire doit être actualisé.

Une approche progressive pour l'évaluation des risques peut être exécutée comme suit:
Etape 1: identification des dangers et des travailleurs exposés;
Etape 2: évaluation et classement des risques;
Etape 3: proposition d'actions préventives;
Etape 4: exécution des actions;
Etape 5: observation et adaptation des actions.

Etape 1

L'identification des dangers et des travailleurs exposés doit être faite pour toute la durée de vie d'un équipement de travail. Le cycle de vie d'un équipement de travail se présente généralement comme suit: plans et conception, fabrication, commande, mise en service, tests, utilisation normale, apparition de défectuosités, contrôle quotidien, entretien de routine, réparation après panne, adaptations et mise hors service.

Concrètement, toutes les sources possibles de rayonnements optiques doivent être inventoriées et tous les travailleurs susceptibles d'être exposés doivent être pris en compte.

Etape 2

Beaucoup de sources de rayonnements sur le lieu de travail sont insignifiantes. Il existe différentes listes de sources de rayonnements, à l'aide desquelles on peut déterminer dans quelle mesure une source de rayonnements peut être nocive. Pour une seule source, une exposition à 20% de la VLE pour toute une journée de travail est à considérer comme négligeable. Mais si 10 sources de rayonnements de ce type sont présentes, l'exposition devra être inférieure à 2% pour pouvoir être considérée comme négligeable.

Il est important de souligner que les risques doivent être éliminés ou réduits. Ceci ne veut toutefois pas dire que le rayonnement doit être ramené à un minimum. Eteindre tous les éclairages pendant le travail provoquerait d'autres risques que les risques de rayonnement …

Concrètement, il faut procéder comme suit:
1) décider quelles sources de rayonnements sont insignifiantes. Il est préférable de noter cette décision;
2) décider quels scénarios d'exposition requièrent un examen plus poussé;
3) comparer l'exposition à la VLE;
4) prendre en considération l'exposition aux différentes sources d'exposition;
5) si la VLE possible est dépassée, les actions nécessaires doivent être entreprises. Une liste de mesures prioritaires doit être établie pour ces sources;
6) prendre en considération les travailleurs susceptibles d'être photosensibles;
7) noter les décisions importantes.

Il n'est pas simple de déterminer le scénario d'exposition. Un rayon laser dangereux peut être présent sur le lieu de travail mais en présentant un risque d'exposition réduit. Par ailleurs, les rayonnements optiques de sources incohérentes peuvent être importants mais les conséquences de l'exposition limitées. Une quantification de ces risques n'est pas justifiée. La solution la plus appropriée est une étiquette «élevé», «moyen» ou «réduit».

Il va de soi qu'il ne faut pas simplement s'efforcer d'avoir une exposition quotidienne du travailleur qui soit juste en deçà de la valeur limite mais qu'il faut veiller à ramener l'exposition au niveau le plus bas possible.

Etape 3

Les mesures de protection collective ont la priorité sur les mesures de protection individuelle. La décision quant aux mesures à prendre doit être prise selon ce principe. Cette décision doit être mise par écrit.

Etape 4

L'action préventive est toujours prioritaire. S'il apparaît que la valeur d'exposition est élevée, il faudra décider si le travail peut continuer ou s'il faut d'abord prendre les mesures de prévention nécessaires.

Concrètement, il faudra décider si le travail peut se poursuivre en connaissant le niveau d'exposition. Les mesures de prévention nécessaires doivent être prises et les travailleurs doivent être informés de la raison pour laquelle ces mesures sont instaurées.

Etape 5

Il est important de vérifier si l'analyse des risques a été efficace et si les mesures de prévention paraissent adéquates. L'analyse des risques doit être revue si les sources de rayonnements changent ou si les méthodes de travail ou la disposition des choses sont modifiées.

Les travailleurs ne savent parfois pas qu'ils sont sensibles aux sources optiques ou qu'ils développent cette sensibilité après l'introduction de sources de rayonnements. La surveillance de santé doit prendre note de ces sensibilités.

Concrètement, on peut fixer une périodicité de révision de l'analyse des risques (par exemple, tous les 12 mois).

6.2 Check-list

L'objectif de cette check-list est de pouvoir inventorier de manière simple mais structurée les risques liés aux sources de rayonnements artificiels. La check-list commence par l'identification du type de rayonnement et de sa source. Ensuite, un certain nombre de questions sont posées. La check-list est établie de telle sorte que, dans une situation idéale, chaque question devrait générer une réponse positive. Une réponse négative implique donc que des risques existent et que les mesures proposées dans la check-list ou d'autres mesures doivent être prises afin d'obtenir le même niveau de sécurité.

La connaissance des propriétés des rayonnements est nécessaire pour pouvoir conclure si des mesures doivent être prises et dans l'affirmative, quelles mesures doivent être prises. Ainsi, le danger est plus grand pour de plus grandes puissances, pour des classes de laser supérieures, pour des expositions plus longues …

Quelle est la longueur d'onde (ou la fréquence) des rayonnements optiques artificiels?
UVA, UVB, UVC, visibles ou IRA, IRB, IRC.

Quelle est la source des rayonnements optiques artificiels?
Lampe, laser, électricité, appareils de soudure, four, flamme nue, autre source (de chaleur)….

Quelle est la puissance ou l'énergie de la source de rayonnements optiques artificiels?
Exprimée en Watts pour les rayonnements continus, en Joules pour les rayonnements pulsés.

Les points suivants doivent être vérifiés:

- Est-il clairement indiqué qu'il y a un danger de rayonnement?
- Des panneaux d'avertissement sont-ils apposés sur l'appareil et dans l'espace de travail ou, s'il y a lieu, sur la porte de l'espace de travail dans lequel se trouve l'appareil?
- L'espace de travail est-il un espace fermé?
- Les inscriptions et les avertissements sont-ils clairs?
- Le travailleur est-il en permanence conscient du danger qu'il y a de travailler avec des sources de rayonnements?
- Les équipements de protection collective et individuelle corrects (par rapport à la longueur d'onde et à la densité de puissance utilisées) sont-ils prévus ?
- Les équipements de protection individuelle et collective sont-ils effectivement utilisés ?
- Les instructions de commande sont-elles présentes ?
- Les instructions de commande sont-elles suivies ?
- L'espace est-il non réfléchissant ?
- Dispose-t-on d'un dispositif d'arrêt d'urgence opérationnel ?
- Y a-t-il une signalisation visuelle indiquant que l'appareil est branché/débranché?

- L'appareillage est-il manié exclusivement par du personnel compétent?
- Tient-on compte du fait que plusieurs appareils peuvent envoyer des rayonnements au même moment?
- En cas d'utilisation de plusieurs appareils, l'espace est-il compartimenté?
- Le conseiller en prévention est-il associé à l'achat des sources de rayonnements?
- Les travailleurs qui se servent des appareils ont-ils subi un examen de la vue préalable et, par la suite, périodique?
- Les travailleurs reçoivent-ils, au préalable, des instructions d'utilisation écrites?
- Dispose-t-on d'un système signalant le mauvais fonctionnement des appareils?
- N'y a-t-il jamais eu d'incident ou d'accident avec l'appareil?

En outre, pour les lasers, il faut vérifier les points suivants:

- Chaque laser est-il correctement classifié?
- A-t-on apposé sur chaque laser une étiquette mentionnant le type de laser, la classe et la puissance du faisceau?
- Les travailleurs connaissent-ils les classes de laser?
- Le laser ne peut-il être mis en marche qu'avec un interrupteur à clé?
- Le laser est-il construit de telle sorte qu'après une panne, quelle qu'en soit la cause, il ne puisse être remis en marche qu'avec un interrupteur à clé?
- Le laser est-il équipé d'une petite lampe témoin qui s'allume si un faisceau est généré dans le laser?
- Les rayonnements laser ne peuvent-il jamais être orientés vers une personne?
- Les rayonnements sont-ils visibles ou invisibles?
- Ne peut-on jamais regarder dans le rayon?
- Ne peut-on jamais regarder dans un rayon réfléchi, focalisé…?
- Les travailleurs n'ont-ils aucun objet dans les mains ou aux mains (bijoux, montre,…) qui peuvent réfléchir le rayon?
- Le rayon laser ne peut-il jamais quitter son réglage, sauf sous contrôle?
- Le rayon est-il toujours parallèle à la table de réglage?
- Le rayon est-il toujours en dessous du niveau des yeux (en position assise ou debout)?
- Les travailleurs ferment-ils les yeux pour ramasser quelque chose au sol?
- Les lumières sont-elles toujours allumées dans les espaces de travail pendant que l'on utilise le laser? (les pupilles sont plus rétractées dans un espace bien éclairé et sont donc moins accessibles aux rayonnements laser)
- A-t-on apposé un panneau d'avertissement pour la haute tension?

Pour la plupart des appareils, le mode d'emploi donne déjà une première idée pour la collecte de données. Si nécessaire, de plus amples informations peuvent être obtenues auprès du constructeur. La littérature générale peut également être d'un grand secours. Retrouver le mode d'emploi peut parfois poser problème.

Les limites doivent être déterminées sur base des données fournies par le constructeur pour la source de rayonnements optiques artificiels. Le constructeur a l'obligation de communiquer les informations nécessaires. Pour les appareils qui, vu leur âge, n'ont pas été accompagnés de ces données ou pour lesquels on a perdu ces données, il convient de procéder à une nouvelle évaluation du rayonnement.

Les données publiées peuvent toutefois s'avérer insuffisantes. A ce moment, il faut faire des calculs. Pour les sources laser, les données sont plus facilement disponibles que pour les sources de rayonnements incohérents.

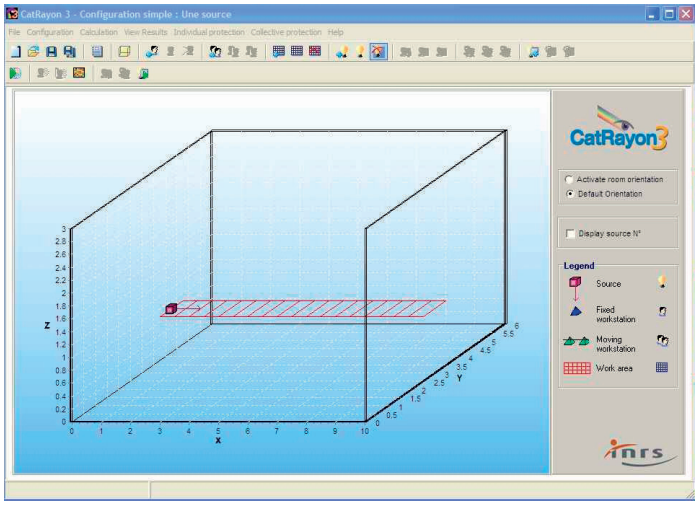
6.3 Calculs

Il existe plusieurs programmes informatiques permettant d'avoir, sans mesurages mais à l'aide de calculs, une bonne idée des valeurs des rayonnements et des risques y afférents. CatRayon est un de ces programmes: 'Hazard Assessment and Protective Measures for Occupational Exposure to Optical Radiation'. Ce programme permet de faire une simulation du lieu de travail ou du poste de travail existant ou encore à construire. La banque de données du programme contient un grand nombre de sources possibles dont les données sont listées par fabricant et par type. On peut également simuler, à l'aide de ce programme, la présence de plusieurs sources de rayonnements, ce qui est un aspect important.

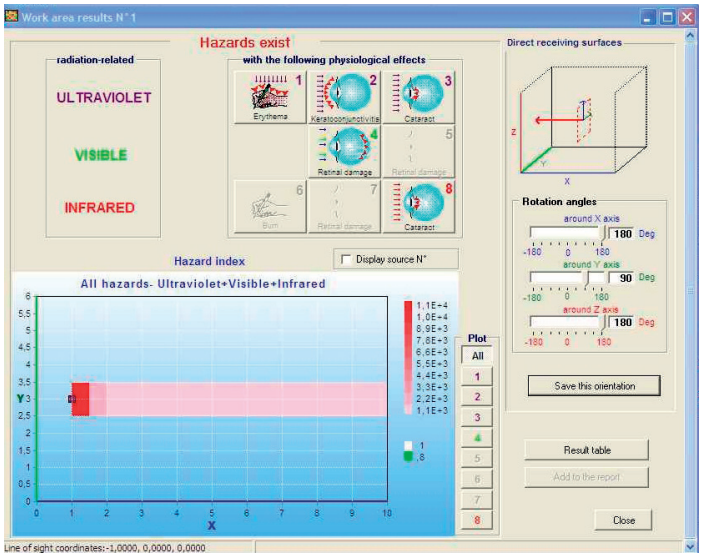
Ce type de programmes soutient l'analyse des risques et permet d'indiquer par simulation la meilleure façon d'installer les postes de travail. En utilisant la banque de données, on peut également examiner la différence de rayonnement entre les différents types d'équipements de travail.

S'il existe un risque pour la santé, le programme indique le risque exact couru par le travailleur.

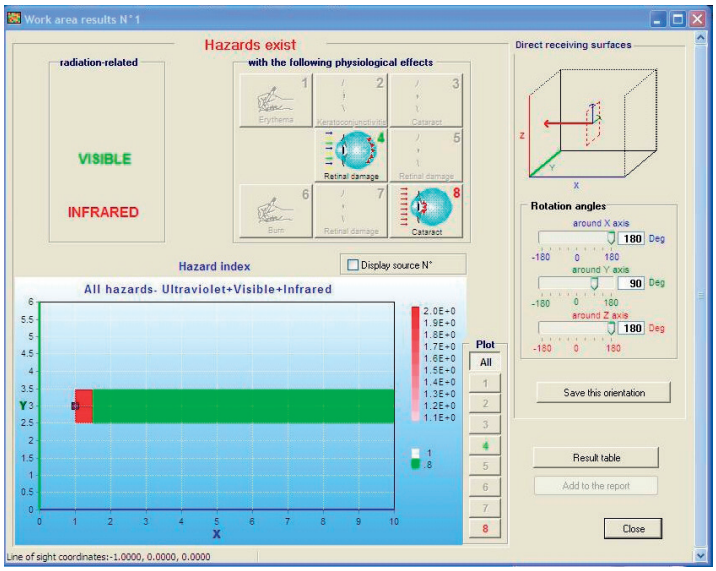
Enfin, on peut chercher dans une banque de données d'EPI et d'EPC la protection la plus adéquate pour le travailleur.



Exemple de simulation d'un poste de soudage dans un espace de travail (Source: CatRayon3 / INRS)



Résultat de l'analyse des rayonnements du poste de soudage sans mesures de protection (Source: CatRayon3 / INRS)



Résultat de l'analyse des rayonnements du poste de soudage avec des mesures de protection collective (rideaux de soudage) mais encore sans équipements de protection individuelle (Source: CatRayon3 / INRS)

6.4 Exemples

Effectuer des calculs et des mesurages partout n'a aucun sens car la plupart des situations restent en deçà de la valeur déclenchant l'action. Une méthode ou un système d'évaluation (qualitative) des risques qui fait une estimation rapide et correcte de l'exposition par rapport aux valeurs déclenchant l'action et aux valeurs limites est dès lors nécessaire.

6.4.1 Centres de bronzage

Dans les centres de bronzage, des rayonnements ultraviolets entrent parfois dans l'espace commun par les ouvertures situées en bas et en haut des cabines privées. Le fabricant des bancs solaires doit spécifier dans le manuel d'utilisation quelles sont les éventuelles mesures de protection à prendre. Les travailleurs de ces centres de bronzage sont exposés à des rayonnements ultraviolets diffus. Aussi longtemps que l'on ne regarde pas directement dans les sources UV, on peut supposer, en se basant sur les données fournies, que l'exposition des travailleurs restera en deçà de la valeur déclenchant l'action.

6.4.2 Travail du métal

Ici, on n'utilise pas de rayons ultraviolets mais ce type de rayonnements est émis. En général, quand on travaille des métaux portés à haute température, des rayons ultraviolets se libèrent: lors du travail du métal, lors des travaux de soudure, lors de la découpe au plasma, à l'autogène et par laser, lors de la vaporisation thermique, des processus de fonte...

Lorsqu'on travaille ou on découpe des métaux par la méthode plasma, autogène ou laser à l'aide de lasers puissants (par exemple, laser YAG ou CO2 avec des longueurs d'onde se situant dans la zone infrarouge), une incandescence orange de plasma va apparaître juste au-dessus de la pièce travaillée. De la lumière bleue visible est alors émise accompagnée de rayonnements ultraviolets.

Même si on travaille avec un laser ayant des longueurs d'onde se situant dans la zone infrarouge, il faudra prendre les mêmes mesures de protection que pour les rayons ultraviolets. L'exposition à ces rayonnements ultraviolets peut avoir un effet temporaire ou chronique sur les yeux et la peau. Les découpeuses laser automatiques doivent toujours être placées dans une armoire de protection et sont ainsi intrinsèquement sûres.

Lors des travaux de soudure, les travailleurs sont exposés à des rayons ultraviolets. Le type de soudage (soudage électrique par points, soudage à l'acétylène…) et le type de métal sur lequel on soude peuvent donner d'autres éclairements énergétiques. L'affection la plus fréquente chez les soudeurs est «le «coup d'arc». Même avec une exposition très brève (de l'ordre d'une dizaine de secondes), le fait de ne pas porter de masque approprié peut déjà donner lieu, vu l'importance de la dose d'exposition, à un dépassement de la valeur déclenchant l'action.

Les équipements de protection collective et individuelle sont indispensables. En les utilisant convenablement, on peut parfaitement pallier les risques connus.

6.4.3 Décontamination

On recourt beaucoup aux lampes UV pour stériliser à fond et pour tuer les germes sur les tables d'examen, dans les hottes de laboratoire ou dans des locaux entiers. Les désinfections intermédiaires se font plutôt à l'aide de produits chimiques.

Quand on décontamine un local entier, il ne peut y avoir aucun travailleur présent. L'accès aux espaces doit, dès lors, être interdit. Cette technique ne peut pas être utilisée pendant les expériences et lorsque des personnes peuvent être exposées.

Lors de la décontamination d'une hotte de laboratoire, par exemple, l'armoire hotte doit être complètement fermée. Ces armoires sont généralement réalisées avec du polycarbonate transparent à l'avant et cette matière ne laisse pas passer les rayons UVC. Avant d'entamer une série d'expériences, on active une lampe UVC avec un pic de 254 nm pendant 30 à 60 minutes. Des interrupteurs de sécurité doivent être présents sur la hotte de laboratoire afin d'éviter une exposition accidentelle par l'ouverture de l'écran.

6.4.4 Séchage et durcissement

Les encres et les peintures peuvent être séchées et durcies plus rapidement sous l'influence des rayons UV et IR. On obtient également le durcissement souhaité de plastiques sous l'influence de processus photochimiques recourant à de forts rayonnements UV. Pour les applications d'imprimerie,

on utilise des encres sensibles aux UV qui sèchent rapidement sous l'influence des rayons UV sans que le fond ne doive être réchauffé. Le contact de la peau avec ces encres peut donner lieu à des irritations et des allergies après exposition à des rayons UV ou au rayonnement solaire.
L'utilisation de rayonnements infrarouges demande plus d'énergie et est utilisé pour amener les matériaux à une certaine température et pour les sécher. L'eau présente une absorption spécifique pour les IRB et les IRC, ce qui peut la faire s'évaporer.
Ce procédé peut être utilisé dans les cabines de peinture au pistolet. Pendant l'utilisation de ces rayonnements, aucune personne ne peut se trouver dans la cabine.

6.4.5 Fours

Les fours à haute température (et donc pas les fours ménagers ou culinaires) peuvent présenter des valeurs de rayonnements infrarouges tellement élevées qu'ils peuvent bel et bien constituer un danger pour les travailleurs. Ces fours sont utilisés pour l'incinération (des déchets ménagers, par exemple) ou la fusion des métaux.
Il est indispensable de protéger les yeux. Exposer des yeux sans protection pendant un long moment pourrait entraîner la cataracte. En fonction de la distance par rapport à la source, des vêtements de protection peuvent également s'avérer nécessaires.

6.4.6 Eclairage

L'éclairage est utilisé pour éclairer un espace mais il peut également être appliqué comme lumière de contraste. L'éclairage standard pour utilisation normale ne pose pas de problème mais les lampes qui, outre les rayonnements visibles, émettent d'autres rayonnements peuvent constituer un danger. Des rayonnements UV non connus peuvent donner lieu à une exposition au-delà des valeurs limites sans que la personne en soit directement consciente. Il est important de connaître les caractéristiques des rayonnements émis par la lampe et si nécessaire de prendre des mesures contre l'exposition.

L'éclairage à l'aide de lampes au mercure-UVA à 365 nm (dans les discothèques, par exemple) n'est pas sûr et en cas de longue exposition, les travailleurs peuvent dépasser la valeur déclenchant l'action.

6.4.7 Applications laser

Ici, on parle des applications autres que celles évoquées dans le travail du métal. Les lasers sont très courants et la plupart d'entre eux sont intrinsèquement sûrs: scanners pour codes barres, imprimantes à laser, lecteur cd et dvd… Tant qu'on n'ouvre pas ces appareils, ils ne génèrent aucun risque.

Les applications contemporaines des lasers se retrouvent dans la stéréolithographie où la résine est imprimée en 3D et immédiatement durcie par un rayon laser dans le domaine des UV ou dans le frittage sélectif par laser ou « Selective Laser Sintering », où les polymères sont fusionnés sous l'influence d'un rayon laser dans le domaine des IR.

Une autre application importante est le contrôle d'accès au moyen de rayons laser. Dans ce cas, on détermine par exemple une zone horizontale autour d'une machine, où la machine cessera de fonctionner dès lors qu'une personne entre dans cette zone. Une programmation permet de donner à ces zones n'importe quelle forme. Il est également possible de définir un contrôle d'accès vertical au moyen d'un laser. Par exemple, dans le cas d'un convoyeur à rouleaux, où le laser laissera passer les produits sans éteindre la machine, mais procédera à l'extinction si une personne veut franchir cet accès.

6.4.8 Applications médicales

Le monde médical utilise beaucoup les lasers et les appareils à rayons infrarouges et ultraviolets. Ceux-ci ont peut-être des vertus thérapeutiques pour le patient mais ils soumettent le personnel soignant à des risques d'exposition. Des équipements de protection individuelle et collective sont indispensables.

6.4.9 Incendies

Cette catégorie un peu spéciale, où l'on ne travaille pas avec des équipements de travail émettant des rayonnements, doit elle aussi être prise en considération. Les pompiers qui sont exposés à des rayonnements infrarouges pendant l'exécution de leur travail courent un grand risque. Il est évident qu'ils doivent porter des équipements de protection individuelle.

6.5 Catégories d'environnements de travail

Selon la norme EN 12198 (liée à la directive européenne machines), les sources de rayonnements optiques artificiels sont réparties entre les catégories suivantes:

Catégorie 0

Pas besoin de mesures de protection spéciales.

Catégorie 1

Conformément aux spécifications techniques de la machine et à l'information relative aux niveaux d'émission de rayonnements résiduaires autour de l'équipement de travail, le fabricant doit spécifier dans le manuel d'utilisation quelles mesures de protection doivent être prises.

Catégorie 2

Des équipements de protection sont nécessaires. Le type de mesures de protection nécessaires dépend du niveau d'émission, de la façon dont l'équipement de travail est utilisé et d'autres facteurs. Des informations sur les dangers, les risques et les effets secondaires doivent être fournies. Il peut s'avérer nécessaire de dispenser une formation.

Wieringa F.P., Teirlinck C.J.P.M et Alferdinck J.W.A.M. subdivisent plus avant cette catégorie 2.

Catégorie 2A

Des équipements de protection sont nécessaires mais les expositions pendant les travaux sont prévisibles et peuvent être aménagées de telle sorte que le travailleur (outre ces équipements de protection) peut se satisfaire d'une information et d'une instruction spécifiques sur les dangers, les risques et les effets secondaires dans sa situation pour travailler en toute sécurité. Dans cette catégorie, il est question de niveaux d'émission élevés mais avec une prévisibilité telle que les risques peuvent être palliés par un bon savoir-faire.

Catégorie 2B

Des équipements de protection sont nécessaires mais comme les expositions durant les travaux peuvent être imprévisibles (et élevées), le travailleur doit être formé de telle sorte qu'il puisse choisir lui-même les équipements de protection sur la base d'une connaissance générale suffisante des dangers, des risques et des effets secondaires des rayonnements optiques pour pouvoir travailler en toute sécurité. Dans cette catégorie, il est question de niveaux d'émission élevés et la prévisibilité des risques est trop limitée pour pouvoir travailler sans une connaissance spécifique des rayonnements optiques.

Le tableau suivant de Wieringa F.P., Teirlinck C.J.P.M en Alferdinck J.W.A.M. décrit les lieux de travail avec les différents types de rayonnements optiques. On indique à chaque fois la catégorie en cas d'utilisation normale et en cas d'entretien. Un astérisque signifie que l'on ne peut pas attribuer une catégorie bien précise.

lieu de travail	utilisation normale	entretien
laser classe 1	0	2B
laser classe 2	1	2B
laser classe 3	2B	2B
laser classe 4	2B	2B
imprimante laser	0	2A
scanner codes barres	0	1
commande à distance	0	0
secteur de l'amusement: laser	*	2B
secteur de l'amusement: blacklight	1	2A
laser de communication: système fermé	0	2A
laser de communication: système ouvert	1	2A
laser dans les soins de santé	2A	2B
laser en laboratoires: installation ouverte (classe 1)	0	0
laser en laboratoires: installation fermée	0	*
traitements laser	1	2B
traitements laser avec émission secondaire	2A	2B
lasers de mesurage et lasers directionnels	1	1
projection laser	*	2B

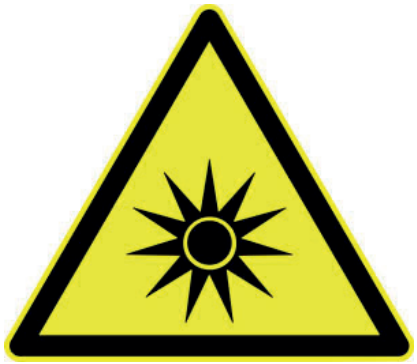
décontamination de l'air et des surfaces (UVC)		
lampes mobiles	2B	2B
systèmes fermés avec interlock	0	2B
système ouvert de décontamination de l'air	0	2A
système ouvert de décontamination de l'air (encastré)	0	2B
décontamination de l'eau	0	2B
procédés de séchage avec IR	1	2A
procédés de séchage avec UV	1	2B
displays et écrans	*	*
examen par fluorescence	*	2B
examen légal par fluorescence UVA	*	*
examen légal par source IRA et caméra	0	0
procédés graphiques	*	2B
applications hygiéniques	*	*
thérapie IR	0	1
soudure	2A	2A
soudure électrique par points	0	0
examen du matériel	*	*
nettoyage de surfaces à l'UV/ozone	1	2B
nettoyage de surfaces au laser	2B	2B
sauna	0	1
procédés de fusion, de coulée et de laminage (métal/verre)	2A	2B
découpe par échauffement	2A	2A
pistolage sous échauffement	2A	2A
ateliers de peinture avec interlock	0	2A
thérapie UV	1	2B
détection faux billets (UVA)	1	1
détection faux billets (UVC)	0	2B
éclairage (normal)	0	0
éclairage (sources puissantes)	0	1
éclairage (sources puissantes, expérimental)	1	2A
garder la nourriture chaude à l'aide d'IR	0	1
banc solaire	1	*

Panneau d'avertissement

S'il existe un risque d'exposition aux rayonnements non-ionisants, le panneau d'avertissement doit être apposé sur l'appareil ou à l'entrée de l'espace où les rayonnements peuvent apparaître.

Panneau d'avertissement 'radiations non ionisantes', Code du bien-être au travail , livre III, titre 6, signalisation de sécurité et de santé.

La norme EN 12198 mentionne le panneau d'avertissement 'rayonnements UV' suivant.



6.6 Rayonnements laser

On n'aborde pas ici les risques du laser en rapport avec sa puissance, la tension électrique et les autres risques, même si ce sont surtout ceux-là qui peuvent avoir des conséquences mortelles. On s'intéresse uniquement ici au risque que les rayonnements peuvent occasionner pour la peau et les yeux. De façon générale, nous pouvons dire que, mis à part les lasers de forte puissance de classe 4, ces rayonnements ne sont pas mortels.

La norme utilisée ici est la EN 60825 éditée par l'Institut européen de normalisation CENELEC.

Les classes dans lesquelles les lasers sont rangés selon la norme tiennent uniquement compte des risques dus aux rayonnements et pas des autres risques tels que la puissance, les aspects électriques, les risques relatifs à la chaleur ou au froid…

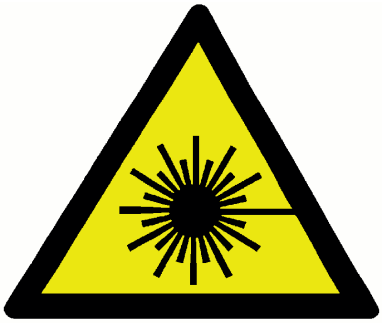
La répartition en classes donne une première idée des risques éventuels. Ce n'est qu'après une analyse des risques approfondie que les mesures nécessaires pourront être implémentées de façon optimale. Dans les laboratoires, on rencontre beaucoup de lasers construits ou transformés par les chercheurs, ce qui rend nécessaire une réévaluation du rangement initial dans une classe (si elle existait déjà).

La classe tient compte de la dose de rayonnements laser à laquelle un travailleur peut être exposé lors d'une opération normale ou pendant un entretien de routine. Un appareil peut donc, intrinsèquement, être de la classe la plus élevée (la plus dangereuse) mais tomber dans la classe la plus basse (la plus sûre) en cas d'utilisation normale.

La classe est indiquée sur l'appareil en lettres noires sur un fond jaune, dans un rectangle bordé de noir.

Mention de la classe apposée sur un appareil, conformément à la norme EN 60825.

Le panneau d'avertissement présenté dans la figure suivante doit également être apposé sur l'appareil:



Panneau d'avertissement 'rayonnement laser', Code du bien-être au travail , livre III, titre 6, signalisation de sécurité et de santé au travail.

Les deux panneaux d'avertissement ci-dessus doivent donc toujours figurer ensemble sur l'appareil.

Les mentions de la puissance maximale du faisceau de rayons, de la durée de pulsion, de la longueur d'onde et de la norme sur laquelle se base la classification doivent également être apposées à un endroit bien visible.

D'autres panneaux d'avertissement existent mais ils sont conformes au standard américain FDA regulation 21 CFR 1040.10, laser notice 50. Ces panneaux ne sont pas suffisants pour être en conformité avec la réglementation relative aux rayonnements optiques. La figure ci-dessous donne un exemple d'un tel panneau d'avertissement.

Panneau d'avertissement selon le standard américain FDA.

Les lasers peuvent envoyer des rayons continus ou pulsés. Pour les lasers en continu, la puissance est exprimée en Watt, pour les lasers pulsés, en J/cm².

Pour les lasers continus rotatifs, la VLE est supérieure que pour les lasers continus fixes car la contrainte pour l'œil est moindre avec les lasers rotatifs. Mais si les lasers rotatifs ne sont pas équipés d'un dispositif de sécurité interrompant le rayon laser en cas d'arrêt du mouvement rotatif, ces appareils sont considérés comme des appareils à rayonnements continus. Ce sont alors des VLE plus faibles qui s'appliquent.

Autrefois, les lasers étaient classés selon l'IEC 825[8] qui devint ensuite la norme IEC 60825 + EN 60825. La révision de cette norme en 2014 a entraîné une nouvelle classification des lasers. On rencontre tant des classifications selon la version originale que des classifications selon la version actuelle.

Version révisée (utilisée pour les appareils fabriqués à partir de 2014):

Classe 1

L'irradiance du rayon laser accessible est inférieure à la valeur limite d'exposition. Ce type de laser est très courant. Pour les appareils de cette classe, il faut toutefois bien vérifier s'ils n'ont pas, en interne, un système laser d'une classe supérieure. Par des mesures de prévention adéquates lors de la construction, on veille à ce que l'accès au rayon proprement dit soit très improbable. Mais un tel appareil de classe 1 qui est démantelé constitue un risque potentiel d'exposition à un rayon laser dangereux.

Classe 1M

Ce sont des appareils qui émettent soit un rayon fortement divergent soit un faisceau d'un grand diamètre. De ce fait, seule une petite partie du faisceau peut pénétrer dans l'œil. Néanmoins, si on utilise des instruments optiques qui focalisent ou qui agrandissent, ce type de laser peut être nocif pour l'œil. L'appareil doit alors être catalogué dans une classe supérieure.

Classe 1C

Cette classe a été instaurée en 2014. Le « C » signifie « contact ». Cette classe concerne les appareils directement en contact avec la peau. Ces appareils peuvent émettre un rayonnement laser puissant d'une classe supérieure, mais, en raison de leur conception, ils ne peuvent pas générer de lésion oculaire lors de leur utilisation sur la peau (contour des yeux exclus).

Classe 2

La puissance maximale émise est limitée à 1mW et a une longueur d'onde de 400 nm à 700 nm et est donc un rayonnement visible. L'exposition aux rayonnements d'un appareil de cette classe ne cause pas de dommage car le réflexe de l'œil suffit à provoquer un clignement de l'œil ou à détourner le regard. En revanche, une exposition répétée ou intentionnelle est dangereuse. Ces rayonnements sont inoffensifs pour la peau.

Classe 2M

Ces lasers sont similaires à ceux de la classe 2 mais ils ont en outre un rayon fortement divergent ou un grand diamètre de faisceau. De ce fait, seule une petite partie du faisceau peut pénétrer dans l'œil. Néanmoins, si on utilise des instruments optiques qui agrandissent ou qui focalisent, ce type de laser peut être nocif pour l'œil.

8. IEC 825 Sécurité du rayonnement des appareils à laser, classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur (Commission électrotechnique internationale), ANSI Z 136.1 (American National Standard Institute).

Classe 3R

Ces lasers qui rayonnent en continu ont une puissance plus élevée que les classes inférieures tout en ne dépassant pas une puissance maximale de 5mW. C'est 5 fois la limite d'émission autorisée pour les lasers de classe 2. Les lasers de classe 3R sont inoffensifs pour la peau mais dangereux pour les yeux. Le risque reste quand même faible. Le danger potentiel est dû au fait que ces lasers ont une puissance supérieure à l'exposition maximale autorisée et que, sur un temps de 0,25s (réflexe de l'œil) en cas de rayonnements visibles ou de 100s pour des rayonnements invisibles, ils causent des dommages aux yeux.

Classe 3B

La puissance émise peut aller jusqu'à 500mW pour les lasers continus ou 10 J/cm² pour les lasers pulsés. Cela suffit à causer des dommages à l'œil, tant pour ce qui concerne le faisceau direct que le faisceau réfléchi. Les rayonnements diffus ne sont pas dangereux. Plus la puissance est forte, plus le danger de lésion est grand. Le degré de lésion dépend de différents facteurs tels que la durée de l'exposition et la puissance des rayonnements.

Classe 4

La puissance émise est supérieure à 500mW pour les lasers continus ou 10 J/cm² pour les lasers pulsés. Ces lasers peuvent causer des dommages permanents aux yeux et à la peau. De plus, ils ont une puissance suffisante pour causer un développement de fumée, un incendie ou des explosions.

Le tableau ci-dessous donne des exemples d'applications des appareils des diverses classes.

Classe 1	imprimante laser, lecteur cd, lecteur dvd,...
Classe 1M	fibres optiques pour la communication,...
Classe 1C	dermatologie
Classe 2	pointeurs laser, scanner de codes barres,...
Classe 2M	instruments de nivellement et d'orientation,...
Classe 3R	lasers rotatifs, lasers topographiques,...
Classe 3B	dans les laboratoires de recherche, physiothérapie,...
Classe 4	chirurgie, gravures, découpe de métaux,...

Applications des lasers

Afin de faire face aux risques, l'employeur doit prendre les mesures de prévention nécessaires. Lorsque la réglementation ne prévoit rien de spécifique, comme c'est le cas pour les lasers, l'employeur doit faire usage de bonnes pratiques, normes...

Le code prévoit également que des travailleurs compétents et suffisamment formés manient, entretiennent, contrôlent… certains outils de travail.

Dans ce cas, la norme 60825 constitue une bonne pratique. Dans cette norme, il est question d'un responsable de la sécurité laser ou « laser safety officer ». Cette personne doit être considérée comme une personne/un conseiller en prévention compétent(e) pour l'utilisation d'un outil de travail spécifique comportant des lasers. La norme stipule, en gros, que, pour les installations comprenant un laser de classe 3R en dehors de la gamme de longueur d'onde de 400 nm à 700 nm ou un laser de classe 3B ou de classe 4, il faut désigner un responsable de la sécurité laser.

Ce responsable de la sécurité laser ne doit pas nécessairement être le conseiller en prévention sécurité de l'entreprise, mais une personne formée, possédant des connaissances suffisantes du domaine.

7. Mesurages

Des mesurages peuvent être effectués comme partie de l'analyse de risques. Comme le stipule la réglementation, l'employeur doit évaluer le degré de rayonnements auquel les travailleurs peuvent être exposés et, si nécessaire, le calculer et/ou le mesurer. Dans de nombreux cas, les mesurages ne sont pas opportuns et ne doivent être effectués qu'après évaluation des données du fabricant et calculs. Les mesurages ne sont pas la première étape d'une analyse des risques.

La réglementation permet donc de déterminer les niveaux d'exposition autrement que par mesurages, par exemple par le biais de calculs à l'aide des données fournies par le fabricant de l'équipement de travail. S'il est possible d'obtenir les données adéquates nécessaires à l'établissement de l'analyse des risques, les mesurages ne seront pas nécessaires. Cette situation est préférable. Effectuer des mesurages sur le lieu de travail est une chose complexe. Les appareils de mesure sont généralement coûteux et leur emploi correct nécessite une personne compétente. Des mesurages effectués par une personne in- compétente peuvent induire des données incorrectes.

Si l'employeur n'est pas disposé à acquérir un appareil de mesure des rayonnements optiques, ou s'il ne possède pas l'expertise pour l'utiliser, une aide extérieure sera nécessaire. L'appareil de mesure requis peut se trouver (ainsi que l'expertise pour l'utilisation):

- dans les départements spécialisés de services externes de prévention et de protection au travail;
- dans les départements spécialisés de services externes de contrôle technique;
- auprès d'organismes de recherche (tels que les universités disposant d'un département d'optique);
- auprès de fabricants d'appareils de mesures optiques.

Ces instances doivent pouvoir prouver qu'elles:

- connaissent les valeurs limites d'exposition;
- possèdent un appareil qui peut mesurer la longueur d'ondes de tous les domaines de longueur d'ondes importants;
- possèdent une expérience dans l'utilisation de l'appareil;
- utilisent une méthode pour le calibrage de l'appareil;
- peuvent évaluer les incertitudes de mesurage.

Sauf si les critères ci-dessus sont réunis, il est possible que l'évaluation des risques qui en découle puisse être fautive, en raison:

- de l'utilisation incorrecte des valeurs limites;
- du manque de résultats de mesure à comparer aux limites applicables;
- de grandes erreurs dans les valeurs numériques des résultats de mesure;
- des résultats de mesure qui ne peuvent être comparés aux valeurs limites.

Un spectromètre, instrument optique utilisé pour mesurer les propriétés du rayonnement dans un domaine spécifique du spectre électromagnétique, permet de mesurer les quantités telles que l'intensité du rayonnement et la longueur d'onde.

Chaque instrument spécifique ne fonctionne toutefois que pour une petite partie du domaine de rayonnement, vu que différentes techniques sont utilisées pour mesurer les différents segments du spectre.

La manière traditionnelle de mesurer un rayonnement dans le domaine visible recourt à des photomètres, qui mesurent le niveau d'éclairage [lux], l'intensité lumineuse [cd], la luminance [cd/m²] et le flux [lux m]. La sensibilité spectrale du détecteur doit correspondre à la sensibilité de l'œil humain afin de pouvoir évaluer l'influence sur l'être humain. Ces paramètres sont importants pour contrôler l'éclairage du lieu de travail, mais sont inutiles pour évaluer le risque d'exposition à des rayonnements optiques artificiels.

Les optomètres vont plus loin et mesurent les longueurs d'onde ainsi que leur répartition dans le domaine visible. Ils mesurent le flux, l'intensité, la luminance énergétique, l'éclairement, l'irradiance, la puissance d'un laser, la lumière erratique d'un laser et même le rayonnement actif photosynthétique. Ces appareils sont portatifs, compacts et faciles à utiliser.

Optomètre (photo utilisée avec l'autorisation de l'entreprise Gigahertz Optik)

Pour les autres rayonnements, on mesure la densité de puissance [W/m²], la puissance [W], la luminance énergétique efficace [W/(m².sr)] et autres. Ces appareils fonctionnent dans des domaines spectraux déterminés, tels que les UVA, les IRA ainsi que dans le domaine visible.

Des appareils de mesure spécifiques sont disponibles pour chaque domaine de longueur d'onde. Un appareil unique pour les rayonnements ultraviolets, visibles et infrarouges n'existe pas. Le rayonnement de chacun de ces segments se mesure en effet d'une manière différente.

Il existe des appareils pour le domaine VIS-IRA et pour le domaine UVA ou UVB ou UVC. Les appareils à plus grande portée sont plus rares. Un appareil à large bande effectue, par exemple, des mesures de 250 nm à 400 nm (UVA, UVB et partiellement UVC). Il existe également des appareils qui possèdent une longueur d'onde très spécifique (telle que 254 nm pour une source de rayonnement au mercure).

Appareil 'UV-340' qui mesure un rayonnement ultraviolet entre les longueurs d'onde 290 nm - 390 nm (UVA/UVB)
(photo utilisée avec l'autorisation de l'entreprise Lutron)

Si aucun contact ne peut être établi avec un objet dont la température doit être mesurée ou s'il faut préserver une certaine distance avec l'objet, on utilisera un thermomètre à rayonnement infrarouge. De tels thermomètres peuvent mesurer des températures comprises entre -30°C et 1200°C. La corrélation entre la longueur d'ondes, la densité de puissance et la température permet de déterminer cette dernière.

8. Mesures de prévention

Les mesures de prévention collectives ont priorité sur les équipements de protection individuelle. Ces derniers ne sont utilisés que lorsque les équipements collectifs sont insuffisants (Code du bien-être au travail, livre IX, titre 2).

Le respect des principes généraux de prévention9 permet de réduire les risques d'exposition aux rayonnements. Ces risques doivent être éliminés ou réduits jusqu'au minimum. Pour ce faire, il faut tenir compte des progrès techniques et de la possibilité de prendre des mesures afin de maîtriser le risque à la source.

9. Loi du 4 août 1996 relative au bien-être des travailleurs lors de l'exécution de leur travail, chapitre II: principes généraux.

Éliminer la source du danger n'est possible que s'il existe des alternatives à part entière. C'est pourquoi il importe, dans le choix du matériel, de considérer les aspects relatifs à la santé et la sécurité. On part du principe que les équipements de travail sont conçus et sécurisés de manière à ce que les risques qu'implique une utilisation normale soient bien connus.

En cas de dépassement des valeurs limites et sur la base d'une évaluation des risques, l'employeur établit et applique un plan d'action consistant à prendre des mesures techniques et/ou organisationnelles destinées à éviter les expositions aux rayons dépassant les valeurs limites. Cela ne s'applique pas si l'évaluation démontre que les valeurs limites ne sont pas dépassées et qu'il n'y a aucun risque pour la santé.

Les lieux de travail dans lesquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des rayons dépassant les valeurs limites d'exposition (VLE) sont signalés par des indications appropriées. Les zones en question sont délimitées et l'accès en est restreint si cela est techniquement possible.

Les mesures de protection contre les rayonnements optiques artificiels se limitent aux yeux et à la peau.

Les travailleurs ne peuvent en aucun cas être exposés à des rayonnements dépassant les VLE. Si ces valeurs limites sont malgré tout dépassées, l'employeur prend alors des mesures immédiates pour ramener l'exposition en deçà des valeurs limites. En outre, il va vérifier le motif du dépassement des valeurs limites et adapter en conséquence les mesures de prévention et de protection pour éviter tout nouveau dépassement à l'avenir.

L'employeur ajuste les mesures en fonction des besoins des travailleurs qui courent un risque particulier.

Il veille également à ce que les travailleurs ayant été exposés à des risques liés aux rayonnements et/ou leurs représentants reçoivent tous les renseignements et les formations nécessaires en rapport avec le résultat de l'évaluation des risques.

8.1 Mesures de protection collectives

Les mesures de protection doivent être appliquées dans l'ordre suivant:

1. Réduire au maximum le risque à la source;
2. Créer un environnement (fermé ou non) plus sûr par des moyens de protection;
3. Imposer une distance de sécurité entre le travailleur et l'appareil qui émet des rayons;
4. Limiter la durée d'exposition;
5. Utiliser des équipements de protection individuelle (EPI).

En ce qui concerne les rayonnements ultraviolets artificiels, une bonne information et instruction des travailleurs est nécessaire et les mesures matérielles suivantes peuvent être prises:

- choix de la source la moins dangereuse, dimensionnement et emplacement optimaux des sources;
- dispositifs anti-réflexion;
- compartimentage des espaces de travail auxquels seuls les travailleurs habilités peuvent avoir accès. Le compartimentage empêche que les travailleurs autres que ceux qui se trouvent dans l'espace de travail soient exposés aux rayonnements directs. Pour se protéger de la plupart des types de rayons, on peut utiliser des fenêtres recouvertes d'un film ou des vitres enduites d'un produit. Celles-ci sont placées autour de l'installation ou sur la protection en verre. Ces précautions permettent de suivre le fonctionnement de l'appareil de l'extérieur en toute sécurité.

Pour protéger les yeux des rayons provenant des radiateurs thermiques qui, outre la chaleur souhaitée (rayonnements infrarouges), produisent également de la lumière, les lampes sont équipées d'un verre rouge. À l'inverse, on utilise parfois des filtres qui retiennent complètement les rayonnements visibles de sorte que seuls les infrarouges sont émis.

En ce qui concerne les lasers, la première mesure de protection collective consiste à choisir le laser qui comporte les risques les plus limités. À cet égard, les rayonnements dans le domaine visible sont préférables. Car, d'une part, le travailleur peut observer le rayon laser à distance et, d'autre part, le réflexe oculaire dans le domaine visible constitue une donnée importante. Un éclairage puissant dans la pièce provoque un rétrécissement du diamètre de la pupille et réduit les risques de lésion

rétinienne. Lors du réglage, il est préférable de positionner le rayon laser au-dessus ou en dessous de la hauteur du regard.

Il peut être nécessaire de prévoir un arrêt d'urgence ainsi qu'un signal visuel indiquant si l'appareil est allumé ou éteint. Si le laser fait partie d'un dispositif fixe, un encoffrement constitue une manière efficace de limiter les risques. Le meilleur encoffrement est celui qui permet d'y enfermer le faisceau complet. De plus, il faut être attentif à l'environnement dans lequel est placé l'appareil. Pour éviter la réflexion des lasers, cet environnement ne doit pas être réfléchissant.

Le laser doit, de préférence, être utilisé dans un espace clos pourvu d'un panneau d'avertissement et uniquement accessible aux personnes compétentes. Seuls les opérateurs habilités peuvent actionner le laser. La réparation et le réglage doivent être confiés uniquement à des spécialistes.

La norme IEC 60825-1 + EN 60825-1 exige que les appareils laser comportent certaines sécurités internes, quelle que soit la classe à laquelle ils appartiennent.

- Tout appareil laser requiert un capot protecteur qui, lorsqu'il est en place, empêche le rayon laser de dépasser celui de classe 1. Exception à cette règle: lorsque le fonctionnement de l'appareil exige un accès humain. Pour l'entretien de ces appareils, le capot doit être fixé de manière à ne pas pouvoir être ôté sans l'aide d'outils.
- Toute pièce, porte ou ouverture donnant vers un local dans lequel se trouve un laser des classes 3B et 4 doit être pourvue d'un verrouillage empêchant que des rayonnements d'une puissance supérieure à celle des classes 1M ou 2M sortent de la pièce au moment où les rayonnements de classe 3B ou 4 sont générés. Ce verrouillage peut être déconnecté temporairement pour permettre à d'autres personnes compétentes de pénétrer dans le local. Toutefois, il ne peut subsister aucun risque lié aux rayonnements à ce moment.
- L'interrupteur principal de tout laser des classes 3B et 4 doit être actionné au moyen d'une clé qu'on doit pouvoir retirer et sans laquelle les rayonnements laser ne peuvent pas être libérés. Lorsque le laser ne fonctionne pas, la clé doit être complètement retirée pour éviter qu'il ne soit actionné par des personnes non habilitées. Le terme «clé» désigne également d'autres systèmes analogues, comme une carte magnétique, par exemple.
- Tous les lasers de classe 3R avec des longueurs d'ondes inférieures à 400 nm et supérieures à 700 nm et tous les lasers de classes 3B et 4 émettent un signal auditif ou visuel avertissant quand l'appareil est allumé ou quand les condensateurs de lasers pulsés sont chargés ou pas entièrement déchargés. Le dispositif d'avertissement doit être dédoublé ou à sûreté intégrée. Le signal visuel doit être visible à travers les lunettes de protection contre les lasers. Les sorties laser distantes de plus de deux mètres d'un dispositif d'avertissement devront également être équipées chacune d'un dispositif d'avertissement propre. Si le système est pourvu de plusieurs ouvertures par lesquelles le rayon laser peut jaillir, le dispositif d'avertissement doit indiquer clairement par quelle ouverture le rayon va effectivement sortir.
- Un interrupteur de sécurité doit être installé sur les panneaux d'accès du capot protecteur si celui-ci est prévu pour qu'on y accède pendant l'entretien et si le fait de le retirer expose à un rayon laser d'un type indiqué par un X dans le tableau ci-dessous.

Classe	**Émission permise pendant ou après avoir ôté le panneau d'accès**				
	1, 1M, 1C	2, 2M	3R	3B	4
1, 1M, 1C			X	X	X
2, 2M			X	X	X
3R				X	X
3B				X	X
4				X	X

Un interrupteur de sécurité sur le panneau d'accès est nécessaire (signalé par un X) lorsque, pendant ou après le retrait du panneau d'accès à un appareil avec un laser d'une classe indiquée dans la colonne de gauche, un rayon d'une classe indiquée dans la ligne correspondante est libéré (IEC 60825 + EN 60825-1).
Le panneau d'accès à un laser qui appartient, par sa conception, à la classe 2M (dans la colonne de gauche) par exemple, devra être équipé d'un interrupteur de sécurité si les rayonnements auxquels une personne est susceptible d'être exposée peuvent être des classes 3R, 3B ou 4 (mentionnées dans la ligne) au moment de l'ouverture de ce panneau d'accès. L'interrupteur de sécurité doit être placé de manière à empêcher de retirer ou d'ouvrir le panneau tant que le rayon dépasse les limites fixées ci-dessus.

- À côté de l'interrupteur d'alimentation, un ou plusieurs atténuateurs de rayons laser ou «stops» doivent être prévus pour les lasers de classes 3B et 4.
- Les boutons de commande doivent être placés de manière à ce que le réglage n'implique aucune exposition aux rayons laser de classes 3R, 3B ou 4.
- En cas d'utilisation d'instruments optiques, il faut prévoir une atténuation suffisante pour que le rayon laser ne soit pas plus élevé qu'un laser de classe 1M.
- Si les dimensions du capot protecteur sont telles qu'une personne peut y pénétrer, il faut prévoir un appareil permettant à cette personne depuis l'intérieur du capot, d'empêcher quiconque

d'actionner le rayon laser. En outre, un avertissement adéquat devra automatiquement être émis, lequel pourra être perçu par la personne dans le capot, en cas d'émission de rayonnements laser de classe 3R inférieur à 400 nm ou supérieur à 700 nm ou de classe 3B ou 4.

Il est de la responsabilité du fabricant de classer correctement les appareils laser et d'indiquer sur ces appareils la classe à laquelle ils appartiennent. Néanmoins, il incombe à l'employeur/acheteur (avec l'avis du conseiller en prévention) de vérifier, lors de la commande, de la livraison et de la mise en service, si les dispositions précitées sont bien remplies.

8.2 Mesures de protection individuelles

Si les mesures de protection collectives ne permettent pas d'atteindre le degré de sécurité requis, des mesures de protection individuelles complémentaires doivent être prises.

La réglementation stipule que les EPI nécessaires doivent être utilisés lors de l'exposition à des rayonnements optiques artificiels potentiellement dangereux. Ainsi, on prescrit le port de vêtements thermorésistants en cas d'exposition aux infrarouges. Pour les ultraviolets, il faut évaluer s'il est plus prudent, outre l'utilisation habituelle de lunettes protectrices, de porter une protection faciale au cas où la peau serait exposée.

Chaque type de rayon exige des lunettes appropriées. Celles-ci atténuent le rayon jusqu'à le ramener à un niveau acceptable, situé en deçà des valeurs limites d'exposition. Grâce à des tableaux (issus des normes) ou des calculs, on peut déterminer quel type de lunettes sera nécessaire si on connaît les (domaines de) longueur d'ondes et la puissance du rayon.

On distingue l'exposition continue de l'exposition accidentelle, pour laquelle la durée d'exposition est limitée.

Les (domaines de) longueurs d'ondes et le numéro d'ordre (qui détermine l'atténuation par un certain facteur) doivent toujours être indiqués sur les filtres et les lunettes de protection, au même titre que la marque d'identification du fabricant et la marque de contrôle national. Dans la pratique, on indique également sur les lunettes le numéro d'ordre et/ou la densité optique.

Numéro d'ordre	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
Atténuation d'un facteur	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
Densité optique	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Numéro d'ordre et densité optique en fonction de l'atténuation du rayonnement

La norme NBN S06-005 indique, sous forme de tableau, le numéro d'ordre requis en fonction du domaine de longueurs d'ondes, de la densité de puissance (ou de la densité énergétique maximale) et du type de laser. On distingue ici l'exposition accidentelle (pour laquelle on suppose que la durée d'exposition est limitée) de l'exposition continue.
Les lunettes doivent, en outre, remplir d'autres critères comme la résistance à la chaleur, la solidité mécanique, le confort, l'ininflammabilité, le facteur de perméabilité dans le domaine visible, la stabilité, les tolérances optiques, le champ visuel, etc.
Dans des conditions optimales, les lunettes de sécurité sont utilisables 6 mois. Dans le cas contraire, il en sera fait mention dans les instructions spécifiques du fabricant. Ces instructions indiqueront également si la résistance aux chocs des lunettes est minimale ou renforcée ou si cette résistance aux chocs vaut pour l'énergie faible, modérée ou forte.
Les symboles relatifs aux domaines d'application sont également repris dans ces instructions et sur les lunettes. En l'absence de code, les lunettes ne seront utilisables que pour des usages basiques tels que des "risques mécaniques indéterminés" et des "risques provoqués par les rayons ultraviolets, visibles, infrarouges et solaires".
Les panneaux de signalisation nécessaires doivent être apposés sur les portes donnant accès à des locaux où des rayons peuvent constituer un danger et sur les appareils mêmes. Les panneaux d'obligation «protection obligatoire de la vue» ou «protection obligatoire du visage» doivent être apposés sur les accès aux locaux ou postes de travail dans lesquels ces obligations sont en vigueur.

Panneaux d'obligation «protection obligatoire de la vue» et «protection obligatoire du visage», Code du bien-être au travail, livre III, titre 6, signalisation de santé et de sécurité au travail.

Les instructions se basent notamment sur les normes suivantes:

- EN 166: spécifications pour la protection individuelle de l'œil: exigences de base pour tous les équipements de protection des yeux et de la figure sauf rayonnements laser, nucléaires, X et infrarouges à basse température
- EN 169: protection individuelle de l'œil avec des filtres pour la soudure et les techniques connexes
- EN 170: filtres à ultraviolets
- EN 171: filtres à infrarouges
- EN 172: spécifications pour les filtres de protection solaire contre l'éblouissement par une lumière très intense utilisés dans les protections individuelles de l'œil pour les applications industrielles.

La plupart des lunettes sont en polycarbonate. On utilise également du verre durci et du CR 39 (carbonate d'allyl diglycol). Mais le verre n'arrête pas les rayons UVA. Par contre, le polycarbonate arrête la quasi-totalité des rayons ultraviolets.

Pour les activités de soudure, il convient de porter des lunettes de protection en dydimium conçues spécialement à cet effet. Il faut également porter des protections du visage lors de soudure électrique. Les équipements de protection les plus récents sont pourvus d'un capteur qui envoie un signal au filtre de l'écran facial pour réduire fortement et immédiatement sa perméabilité pendant la soudure.

Pour contenir les rayonnements infrarouges, il faut porter des lunettes ou un masque facial et, éventuellement, des vêtements conçus spécifiquement à cet effet. Les masques faciaux destinés aux travaux impliquant une exposition aux infrarouges sont composés de gaze métallique. A la place d'une gaze métallique, on peut également utiliser un écran facial recouvert d'une feuille d'or. Les protections du visage contre les infrarouges peuvent également être composées de verres bleus imprégnés de cobalt. Ceux-ci se révèlent particulièrement efficaces contre les rayons mais altèrent les couleurs naturelles.

Pour les rayons laser de classes 3B et 4, une protection visuelle adaptée est nécessaire. Les normes de ces protections visuelles sont:

- EN 207, filtres et protections de l'œil contre les rayonnements laser;
- EN 208, lunettes de protection pour les travaux de réglage sur les lasers et sur les systèmes laser;
- EN 60825-1, protection optique exigée.

Ces lunettes laser atténuent les rayonnements incidents pour le ramener sous l'exposition maximale admise. Elles doivent toutefois permettre une vision aussi normale que possible et altérer les couleurs au minimum. Pour les différents domaines de longueurs d'ondes, d'autres types de lunettes de sécurité sont disponibles. Il est facile de choisir des lunettes pour se protéger d'un laser avec un rayon à fréquence fixe. En revanche, cela se complique quand on emploie différents lasers ou un laser à fréquences variables. Les lunettes de protection sont parfois rattachées au type de laser. En fait, les lunettes sont fabriquées pour une longueur d'onde ou un domaine de longueurs d'ondes bien précis et pas spécifiquement pour un appareil laser déterminé. Dans les tableaux, on peut retrouver les lunettes laser adéquates en partant des données du type de laser et de la longueur d'ondes y afférente. Le type de lunettes, la perméabilité du filtre et la visibilité que permettent les lunettes en découlent.

Une extrême vigilance est de rigueur par rapport aux lunettes vendues comme "lunettes laser". En effet, il existe des lunettes laser qui protègent contre les rayons laser et sont donc réellement des lunettes de protection. Toutefois, il existe également un autre type de lunettes, également appelé "lunettes laser", qui rendent le rayon laser (plus) visible, en jouant sur un contraste accru. Ces lunettes ne fournissent aucune protection.

Des vêtements et des gants de protection sont nécessaires lors de la manipulation de lasers à haute puissance. Les vêtements doivent être ignifuges et pouvoir résister un certain temps aux rayons laser.

Comme mesure de prévention contre les rayonnements optiques artificiels dans le domaine ultraviolet, on peut commencer par envisager la protection contre les rayons solaires (naturels) ultraviolets. La meilleure manière de protéger la peau d'une exposition aux rayons ultraviolets du soleil est de porter des vêtements de protection. On recommande des vêtements flottants fabriqués dans une matière à mailles très serrées. Pour protéger la tête et le cou de manière optimale, il faut porter un chapeau à larges bords. Si la peau reste découverte, il faut appliquer régulièrement et généreusement une huile solaire ayant un indice de protection d'au moins 15. Pour la protection des yeux, on portera des lunettes protectrices à bords larges. L'unique façon de se protéger des rayonnements périphériques est de porter des lunettes qui recouvrent entièrement l'œil.

Un équipement de protection respiratoire adapté doit être porté s'il y a un dégagement de fumée ou de vapeur lors de l'utilisation du laser, ce qui est fréquent en chirurgie.

9. Information et formation

L'employeur veille à ce que les travailleurs bénéficient de toute l'information et la formation nécessaires, en particulier en ce qui concerne:

- les valeurs limites d'exposition et les dangers potentiels y afférents;
- les résultats de l'évaluation, du mesurage et/ou du calcul des niveaux d'exposition effectués, ainsi qu'une explication sur leur signification et sur les dangers potentiels;
- les mesures prises pour limiter les risques;
- la manière dont les effets nocifs de l'exposition sur la santé doivent être dépistés et communiqués;
- les conditions dans lesquelles les travailleurs ont droit à une surveillance de santé;
- les méthodes de travail sûres afin de limiter les risques;
- la mise à disposition d'équipements de protection individuelle adéquats;
- l'utilisation optimale des équipements de protection individuelle appropriés.

Les travailleurs doivent recevoir une formation leur permettant d'utiliser les appareils en toute sécurité dans des conditions normales, d'en connaître les risques ainsi que de connaître et de pouvoir appliquer les mesures de protection individuelle et collective. (Code du bien-être au travail, livre IX, titre 2 concernant l'utilisation des équipements de protection individuelle).

Un contrôle par la voie hiérarchique est un élément important de la chaîne permettant d'obtenir un environnement de travail sûr.

En cas de fonctionnement anormal ou de maintenance, les travailleurs doivent savoir ce qu'ils doivent faire pour garantir leur propre sécurité et celle des autres. Les éventuelles mesures de protection additionnelles doivent être appliquées. Des instructions écrites doivent également exister à cet effet. (Code du bien-être au travail, livre IV, titre 2 concernant les équipements de travail).

Les travailleurs doivent comprendre et respecter les indications et panneaux d'avertissement.

La répétition périodique de cette formation et de ces instructions est nécessaire. Tant parce que les nouveaux travailleurs doivent connaitre les dangers que pour prévenir le relâchement des travailleurs expérimentés dans le cas où aucun incident ne se serait encore produit jusque là.

10. Surveillance de santé et maladies professionnelles

Les travailleurs qui encourent un risque de santé à la suite d'une exposition à des rayonnements optiques artificiels sont obligatoirement soumis à une surveillance de santé par le médecin du travail. En pratique, cela concerne les travailleurs qui exercent une activité au cours de laquelle la valeur limite est susceptible d'être dépassée. L'objectif de cette surveillance de santé est la prévention (vérification de l'aptitude) ainsi que le diagnostic précoce de toute affection découlant d'une exposition à des rayonnements optiques artificiels.

Le médecin du travail doit appliquer des techniques éprouvées afin de détecter les effets sur la santé. Etant donné l'absence d'un screening des effets à long terme, l'examen se concentrera essentiellement sur la collecte de renseignements et la constatation de plaintes, incidents et lésions ainsi que la détection de contre-indications.

L'examen doit avoir lieu à l'embauche, puis une fois par an, ainsi qu'après 4 semaines d'absence pour maladie ou accident. Par ailleurs, le travailleur doit également être examiné par le médecin du travail chaque fois qu'une exposition dépassant la valeur limite est constatée. Lorsqu'un travailleur subit des répercussions sur la santé à la suite de rayonnements optiques artificiels, ses collègues doivent aussi se faire examiner par le médecin du travail.

Lorsqu'un médecin du travail constate, chez un travailleur, des effets nocifs causés par des rayonnements optiques artificiels, la marche à suivre est la suivante:

1. Le médecin du travail met le travailleur au courant et lui donne information et conseils.
2. Le médecin du travail
   - informe l'employeur de l'existence d'un problème relatif à l'exposition à des rayonnements optiques artificiels. Dans ce cadre, il doit prendre en compte le secret professionnel;
   - rend un avis sur les mesures à prendre;
   - rend un avis sur la nécessité de soumettre d'autres personnes exposées à une surveillance de santé.
3. L'employeur revoit l'évaluation du risque.
4. L'employeur revoit les mesures.
5. Dans sa prise de mesures, l'employeur tient compte de l'avis du médecin du travail ou d'une autre personne qualifiée en la matière.
6. Il y a éventuellement une surveillance de santé par le médecin du travail pour d'autres travailleurs.
7. Il y a éventuellement un suivi continu de la victime par le médecin du travail.

Certains travailleurs sont plus sensibles aux rayonnements optiques artificiels. Il se peut que ces personnes ne soient pas aptes à effectuer certaines activités incluant une exposition. Il appartient au médecin du travail d'examiner les risques que les travailleurs peuvent supporter étant donné leur état de santé. Les maladies suivantes peuvent poser problème et constituent donc des contre-indications possibles à une exposition:

- Les maladies existantes qui empirent suite à une exposition aux UV (lupus ED, porphyrie, lentiginose, xeroderma pigmentosum, mélanome précoce);
- Photodermatoses provoquées par l'utilisation de certaines matières;
- Anomalies de la vision organiques et fonctionnelles (rétinopathie, aphakie, absence de réflexe pupillaire, absence de réflexe de fermeture des paupières, photophobie, hypersensibilité à la lumière clignotante);
- Migraine avec hypersensibilité à la lumière.

Fedris reconnaît une seule maladie professionnelle causée par des rayonnements optiques, à savoir la «cataracte provoquée par le rayonnement thermique» (code 1.602). En 2009, on comptait 26 hommes et 1 femme chez qui la cataracte était reconnue comme maladie professionnelle avec incapacité de travail permanente; 19 personnes présentaient un taux d'incapacité inférieur à 30 %.

Annexes

Annexe 1: Check-list rayonnements optiques artificiels

1	2	Check-list RAYONNEMENTS OPTIQUES ARTIFICIELS					3	4	5
Quels éléments seront contrôlés ?	Quel est l'objet du contrôle (LT= contrôle sur le lieu de travail))	Date de l'examen		de		à	document/situation n'existe pas ou ne répond pas aux exigences	document/situation souhaitée existe, mais insuffisant	document/situation souhaitée répond aux exigences
		Identité de l'entreprise			groupe	A / B / C / D			
		nom							
		adresse							
		tél.			fax				
		activité							
					nace				
		SIPP							
		ligne hiérarchique (concernée ?)							
		CPPT (concerné ?)							
		SEPP							
		Autres personnes présentes							
		Effectif du personnel			H/F				

		Check-list RAYONNEMENTS OPTIQUES ARTIFICIELS					
		sources	**Longueur d'onde (nm)**	**puissance (W) / énergie (J)**			

1	2	Check-list RAYONNEMENTS OPTIQUES ARTIFICIELS	3	4	5
		GENERAL			
		Le danger de rayonnement est-il indiqué clairement ?			
		Des panneaux d'avertissement sont-ils apposés sur l'appareil et sur le lieu de travail ? Ou, si d'application, sur la porte menant au lieu de travail où se trouve l'appareil ?			
		Le lieu de travail est-il un local fermé ?			
		Les inscriptions et les avertissements sont-ils clairs ?			
		Une conscience constante du danger est-elle présente lors du travail avec des sources de rayonnements ?			
		Les équipements de protection collective et individuelle corrects sont-ils prévus (pour la longueur d'onde et la puissance volumique utilisées) ?			
		Les équipements de protection collective et individuelle sont-ils effectivement utilisés ?			
		Les instructions de maniement sont-elles présentes sur l'appareil ou à proximité de celui-ci ?			
		Les instructions de maniement sont-elles suivies ?			
		Le manuel d'utilisation est-il présent à proximité de l'appareil ?			
		Le local est-il réfléchissant ?			
		Un arrêt d'urgence actif est-il présent ?			
		Une signalisation visuelle permettant de voir que l'appareil est en marche/arrêt est-elle présente ?			
		L'appareil est-il uniquement utilisé par le personnel compétent ?			
		Est-il tenu compte du fait que différents appareils peuvent émettre des rayonnements au même moment ?			
		Le local est-il compartimenté lors de l'utilisation de différents appareils ?			
		Le conseiller en prévention est-il impliqué lors de l'acquisition de sources de rayonnements ?			
		Les travailleurs qui travaillent avec les appareils, ont-ils subi un examen des yeux préalable et ensuite périodique ?			
		Les travailleurs reçoivent-ils des instructions d'utilisation écrites au préalable ?			
		Un système de notification est-il présent afin de communiquer le mauvais fonctionnement des appareils ?			
		Y a-t-il déjà eu des notifications d'incidents/accidents avec l'équipement de travail ?			

1	2	**Check-list RAYONNEMENTS OPTIQUES ARTIFICIELS**	3	4	5
		LASER			
		Chaque laser est-il correctement classifié ?			
		Une étiquette est-elle apposée sur chaque laser reprenant le type de laser, la classe et la puissance du faisceau ?			
		Les travailleurs connaissent-ils les classes de laser ?			
		Le laser peut-il uniquement être mis en marche avec un interrupteur à clef ?			
		Le laser est-il construit de telle sorte qu'après une coupure, peu importe la raison, il ne peut être remis en marche qu'à l'aide de l'interrupteur à clef ?			
		Le laser est-il équipé d'un voyant lumineux indiquant qu'un faisceau est produit dans le laser ?			
		Le rayon laser ne peut-il jamais être dirigé vers une personne ?			
		Le rayon est-il visible ?			
		N'est-il jamais possible de regarder dans le rayon ?			
		N'est-il jamais possible de regarder dans un rayon réfléchi, focalisé,... ?			
		Les travailleurs n'ont-ils jamais d'objets dans ou sur les mains (bijoux, montre...) qui peuvent réfléchir le rayon ?			
		Le rayon laser ne peut-il jamais quitter la position, sauf si contrôlé ?			
		Le rayon est-il toujours parallèle à la table de l'emplacement ?			
		Le rayon est-il toujours en-dessous du niveau de l'œil (position debout ou assise) ?			
		Les travailleurs ferment-ils les yeux pour ramasser quelque chose au sol ?			
		Les lumières dans les locaux sont-elles toujours allumées pendant le travail avec le laser ?			
		Un panneau d'avertissement de haute tension est-il apposé ?			

Annexe 2: Normes

L'article V.6-5 du Code du bien-être au travail relatif à la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés aux rayonnements optiques artificiels sur le lieu de travail dit «Lors de l'évaluation, la mesure et/ou les calculs, l'employeur emploie une méthodologie qui est conforme aux normes de la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne les rayonnements laser et aux recommandations de la Commission internationale de l'éclairage (CIE) et du Comité européen de normalisation (CEN) en ce qui concerne les rayonnements incohérents.»

Vous trouverez ci-joint une liste non limitative de normes qui sont essentielles pour l'application de l'article V.6-5 ainsi que celles qui concernent la protection personnelle et collective.

Normes européennes

EN 169 Protection Individuelle de l'œil - Filtres pour le soudage et les techniques connexes - Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée

EN 170 Protection Individuelle de l'œil - Filtres pour l'ultraviolet - Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée

EN 171 Protection Individuelle de l'œil - Filtres pour l'infrarouge - Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée

EN 175 Protection Individuelle - Equipements de protection des yeux et du visage pour le soudage et les techniques connexes

EN 207 Protection Individuelle de l'œil - Filtres et protecteurs de l'œil contre les rayonnements laser (lunettes de protection laser)

EN 208 Protection Individuelle de l'œil - Lunettes de protection pour les travaux de réglage sur les lasers et sur les systèmes laser (lunettes de réglage laser)

EN 379 + A1 Protection Individuelle de l'œil - Filtres de soudage automatique

EN 1598 + A1 Hygiène et sécurité en soudage et techniques connexes - Rideaux, lanières et écrans transparents pour les procédés de soudage à l'arc

EN ISO 11145 Optique et photonique - Lasers et équipements associés aux lasers - Vocabulaire et symboles (ISO 11145: 2006)

EN ISO 11553-1 Sécurité des machines - Machines à laser - Partie 1: Prescriptions générales de sécurité (ISO 11553-1: 2005)

EN ISO 11553-2 Sécurité des machines - Machines à laser - Partie 2: Exigences de sécurité pour dispositifs de traitement laser portatifs (ISO 11553-2: 2007)

EN 12254 Ecrans pour postes de travail au laser - Exigences et essais de sécurité

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

EN 14255-2 Mesurage et évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents - Partie 2: Rayonnements visibles et infrarouges émis par des sources artificielles sur les lieux de travail

EN 14255-4 Mesurage et évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents - Partie 4: Terminologie et grandeurs utilisées pour le mesurage de l'exposition au rayonnement ultraviolet, visible et infrarouge

EN 61040 Détecteurs, instruments et matériels de mesurage de puissance et d'énergie des rayonnements laser

CLC/TR 50488 Guide to levels of competence required in laser safety

ISO, CEI (IEC) et CIE

CEI 60825-1 Sécurité des appareils à laser - Partie 1: Classification des matériels et exigences

CEI 60825-2 Sécurité des appareils à laser - Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques (STFO)

IEC/TR 60825-3 Safety of laser products - Part 3: Guidance for laser displays and shows

CEI 60825-4 Sécurité des appareils à laser - Partie 4: Protecteurs pour lasers

CEI/TR 60825-5 Sécurité des appareils à laser - Partie 5: Liste de contrôle du fabricant relative à la CEI 60825-1

IEC/TR 60825-8 Safety of laser products - Part 8: Guidelines for the safe use of laser beams on humans

CEI 60825-12 Sécurité des appareils à laser - Partie 12: Sécurité des systèmes de communications optiques en espace libre utilisés pour la transmission d'informations

IEC/TR 60825-13 Safety of laser products - Part 13: Measurements for classification of laser products

IEC/TR 60825-14 Safety of laser products - Part 14: A user's guide

IEC 62471 Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes

ISO 17166/CIE S 007/F Norme commune ISO/CIE: Spectre d'action érythémale de référence et dose érythémale normalisée

ISO 28077/CIE S 019/F Norme commune ISO/CIE: Spectre d'action de la photocarcinogenèse (cancers de la peau hors mélanome)