

# Effets sur la santé de l'exposition professionnelle aux rayonnements ultraviolets

P. DYEVE (\*), P. MEREAU (\*\*)

## INTRODUCTION [1 à 3]

Le rayonnement ultraviolet (UV) est un rayonnement non-ionisant qui appartient au domaine des rayonnements électromagnétiques. Le spectre de longueur d'onde des UV se situe entre celui des rayons X mous et le spectre visible. Les longueurs d'onde sont comprises entre 100 et 400 nm (fig. 1).

Il existe plusieurs classifications des UV. Elles sont basées sur leurs propriétés physiques et biologiques qui les différencient en bandes de longueur d'onde plus ou moins étendues. La classification habituellement utilisée est celle de la Commission internationale de l'éclairage qui distingue trois classes d'UV :

- les UV-A dont le spectre s'étend de 315 à 400 nm ;
- les UV-B dont le spectre s'étend de 280 à 315 nm ;
- les UV-C dont le spectre s'étend de 100 à 280 nm.

Lors d'une interaction avec la matière, les rayonnements UV peuvent être transmis, diffusés ou absorbés. Les effets produits dans un milieu biologique sont essentiellement dus au rayonnement absorbé.

En raison de leur faible énergie, comprise entre 3,1 eV à 400 nm et 12,4 eV à 100 nm, les UV sont des rayonnements

peu pénétrants dans les milieux biologiques. Ils sont rapidement absorbés dans les couches superficielles ou épidermiques des tissus exposés, représentés par les zones découvertes du revêtement cutané (tête, cou, tronc, membres supérieurs et inférieurs), le segment antérieur de l'œil (cornée et cristallin) et, à un moindre degré, le segment postérieur.

Dans les milieux non biologiques, leur transmission est variable. Ainsi, la transmission décroît avec la longueur d'onde. Les UV-A sont transmis dans l'air, le verre, le quartz et l'eau ; les UV-B ne le sont que dans l'air et le quartz et les UV-C sont atténués en grande partie dans l'ensemble de ces milieux.

Sur un plan pratique, seuls les effets des UV compris entre 180 et 400 nm sont à prendre en considération, en raison de l'absorption dans l'air des UV de longueur d'onde inférieure à 180 nm.

Les UV ont des effets bénéfiques sur l'organisme lors d'expositions à de faibles niveaux comme, par exemple, la production de vitamine D3 indispensable à la prévention du rachitisme.

L'exposition suffisamment intense et/ou prolongée aux UV provoque un certain nombre d'effets préjudiciables. Seuls ces effets seront envisagés ici. Ils sont fonction de la nature de l'exposition (durée, fréquence et intensité) et de la répartition spectrale du rayonnement qui conditionne leur absorption préférentielle au niveau des tissus biologiques superficiels.

(\*) Service Etudes et assistance médicales, INRS, Paris.

(\*\*) Direction des Etudes et recherches, INRS, Paris.

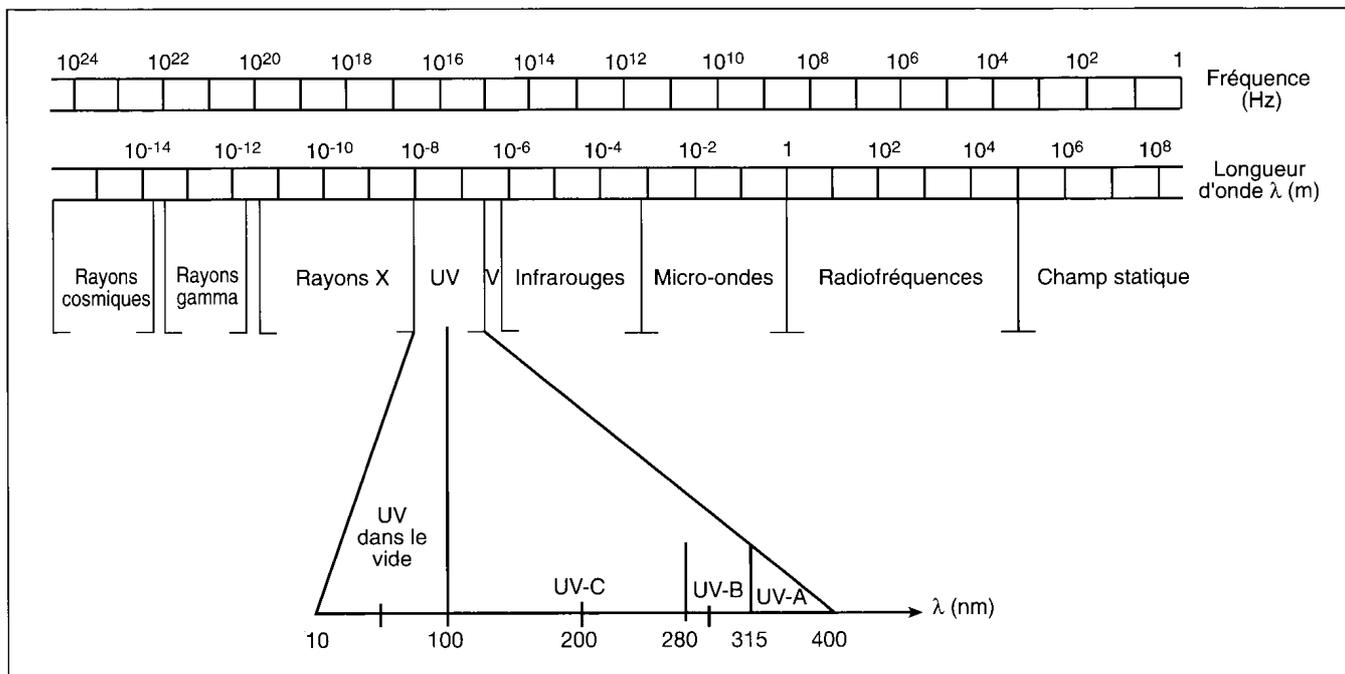


Fig. 1. Place des UV dans le spectre des rayonnements électromagnétiques (V : domaine du visible 380-770 nm)

## ORIGINE DES UV ET MODES D'EXPOSITION [1, 4, 5]

### Sources naturelles

Le soleil est la principale source naturelle de rayonnements ultraviolets sur terre. La plus grande partie du rayonnement UV de longueur d'onde inférieure à 295 nm est absorbée par les différentes couches de l'atmosphère.

Les UV représentent environ 5 % du rayonnement total émis par le soleil et reçu au sol. Ainsi, le spectre solaire en UV atteignant le sol ne comporte que des UV-A et des UV-B. La proportion est d'environ de 95 % en UV-A et de 5 % en UV-B. Les UV-C sont totalement absorbés par la couche d'ozone présente dans la stratosphère.

De nombreux facteurs environnementaux et individuels influent sur l'importance de l'exposition. Parmi les facteurs environnementaux, on peut citer la latitude, la saison, les conditions météorologiques, les réflexions de l'environnement, la pollution. Parmi les facteurs individuels, on peut citer les habitudes et les comportements socioculturels vis-à-vis du soleil ainsi que la distribution angulaire du rayonnement incident par rapport aux zones exposées (les zones convexes sont proportionnellement plus exposées).

### Sources artificielles [1, 4 à 6]

Plusieurs types de sources artificielles, confinées ou non, sont susceptibles de délivrer en proportions variables les trois gammes de rayonnement UV. Selon le type d'application, le rayonnement UV est utilisé pour ses effets directs, ou bien représente une fraction du rayonnement émis ne contribuant pas à l'effet recherché.

Peuvent être citées ici :

- certaines sources à incandescence comme les lampes halogènes ;
- les lampes à décharge, comme les lampes à vapeur de mercure ou les lampes germicides ;
- la soudure à l'arc électrique ;

- les lampes à UV à usage médical ou cosmétique ;
- certaines lampes à arc au mercure ou au carbone ;
- les lampes sans électrodes, comme celles utilisées dans le traitement de surface et le séchage des encres ;
- certains types de lasers.

### Exposition non professionnelle

Les séances volontaires dans les studios de bronzage (UV-B et UV-A), certains traitements médicaux (UV-B et UV-A) et certains types d'éclairage général (lampes halogènes, lampes à vapeur de mercure...) sont les principales sources artificielles non professionnelles exposant aux UV.

### Exposition professionnelle

Les principales circonstances d'expositions professionnelles sont représentées par :

- le soudage à l'arc électrique : les soudeurs représentent vraisemblablement la catégorie professionnelle numériquement la plus importante exposée aux UV. Ainsi, on estime actuellement cette population exposée à environ 500 000 personnes aux Etats-Unis et 200 000 en France ;
- l'utilisation industrielle de procédés photochimiques, comme le séchage des encres en imprimerie, le durcissement et le séchage des vernis dans l'industrie de l'ameublement et le contrôle de qualité dans l'industrie alimentaire et électronique ;
- la stérilisation et la désinfection : en désinfection bactérienne (blocs opératoires et chambres de malades), ce sont les UV de longueurs d'onde centrées sur 253 nm qui sont les plus efficaces. L'ADN présente en effet une absorption maximale pour ces dernières ;
- la désinsectisation : des lampes à UV-A sont utilisées pour attirer les insectes volants vers un piège comportant une grille à haut voltage ;
- les applications médicales : il s'agit de la photothérapie dans le traitement de certaines dermatoses cutanées (psoriasis et eczéma), de leur utilisation pour le diagnostic d'affections cutanées et dentaires ;

- la recherche dans les domaines de la photobiologie, la photochimie et la biologie moléculaire ;
- l'éclairage ponctuel ou général à l'aide de lampes halogènes ou à vapeur de mercure ;
- certaines machines à photocopier et à tirer des plans ;
- le secteur de la photographie et l'industrie du spectacle.

Il n'existe pas actuellement de données statistiques permettant d'évaluer quantitativement la population salariée exposée, ni les modalités de son exposition (nature, durée, intensité). En 1982, on estimait qu'en France, plusieurs centaines de milliers de personnes étaient exposées professionnellement aux rayonnements ultraviolets.

## MECANISMES D'ACTION [5, 7 à 9]

La plupart des effets biologiques des UV sont le résultat d'interactions photochimiques. Il existe une relation entre l'éclairement énergétique et le temps d'exposition. Ainsi, une dose globale exprimée en  $J/m^2$  produira le même effet sur l'organisme, qu'elle soit délivrée en une fraction de seconde ou en plusieurs minutes.

La longueur d'onde du rayonnement et la dose totale absorbée par les tissus sont les deux paramètres fondamentaux qui déterminent les effets adverses des UV. En tenant compte de leur efficacité sur le plan biologique, on peut classer globalement les UV par ordre décroissant, selon l'importance de leurs effets : UV-C, UV-B et UV-A.

La dose érythémale minimum (DEM) est également un paramètre de dose efficace, couramment utilisé, permettant de comparer entre eux les effets biologiques de doses d'UV de longueurs d'onde différentes. Une DEM correspond à la dose de rayonnement suffisante pour entraîner un érythème juste perceptible sur une peau blanche.

Dans le matériel biologique, les UV sont absorbés par des groupements ou des molécules chimiques spécifiques appelés chromophores. La principale caractéristique de l'absorption est la sélectivité. Chaque type de chromophore présente une absorption préférentielle pour une longueur d'onde donnée ou pic d'absorption. Les chromophores les plus connus sont l'acide urocanique (277 nm), l'ADN (260 nm), la tyrosine (275 nm) et la mélanine (absorption large des UV jusqu'au visible).

L'absorption se traduit par une modification de l'état énergétique de la molécule qui correspond soit à une excitation, soit à une augmentation de l'énergie de rotation et de vibration. Les réactions photochimiques se produisent lors du retour plus ou moins rapide à l'état d'énergie fondamental. La formation de radicaux libres et les ruptures de liaisons intramoléculaires, de façon directe ou après transfert d'énergie aux molécules voisines, représentent les deux modes d'apparition de photoproduits. Certains photoproduits peuvent être responsables d'effets délétères, tels les effets photo-toxiques et photoallergiques.

Les conséquences de ces réactions peuvent se traduire par :

- une altération de l'ADN ;
- des ruptures de liaisons au sein des peptides ;
- des réactions d'oxydation ;
- des inactivations enzymatiques à la suite de modifications des protéines.

Dans les cellules des mammifères, il existe des mécanismes enzymatiques de réparation capables de circonscrire l'ensemble de ces atteintes.

Ce sont les lésions touchant l'ADN qui sont susceptibles d'avoir les répercussions les plus importantes. Dans le cas de ruptures de la chaîne d'ADN, la réparation s'effectue habituellement sans défaut. Cependant, des défaillances dans les modalités de réparation ont pu être constatées, et notamment dans le cas de certaines maladies rares (xeroderma pigmentosum). Ces défauts de réparation peuvent conduire à :

- la mort cellulaire ;
- des mutations ;
- des modifications de la division cellulaire.

## EFFETS BIOLOGIQUES

Chez l'homme, il n'existe pas de récepteurs sensoriels lui permettant d'apprécier le degré et le danger d'une exposition aux UV. Seuls les effets survenant à plus ou moins long terme traduisent les conséquences d'une exposition excessive à ce type de rayonnement.

Deux principaux types d'effets ont été décrits (tableau I). Ce sont, d'une part, les effets précoces et spécifiques et, d'autre part, les effets retardés et non spécifiques. Les deux organes cibles pour ces effets sont le revêtement cutané et l'appareil visuel.

### Revêtement cutané [1, 2, 5, 8 à 14]

#### Érythème, brûlures et pigmentation

L'érythème est caractérisé par une rougeur cutanée secondaire à une vasodilatation. Deux mécanismes au moins semblent être à l'origine de cette réaction : l'action directe des UV sur les vaisseaux sanguins superficiels et la libération de médiateurs chimiques. L'absorption des UV par les sites chromophores et les réactions photochimiques induites permettent la libération de ces médiateurs.

Ce sont les UV de longueur d'onde de 180 à 315 nm (avec deux pics d'efficacité à 254 et 297 nm) qui en sont essentiellement responsables. La réaction de la peau peut aller du simple érythème à la brûlure (coup de soleil) avec décollements phlycténulaires. L'importance de la réaction érythémateuse est fonction de plusieurs paramètres :

TABLEAU I

#### Effets provoqués par les UV selon le site d'action

Sites	Effets précoces	Effets retardés
Revêtement cutané (tête, cou, tronc, et membres)	Erythème Brûlure Pigmentation Effet sur l'immunité Photosensibilité	Vieillessement cutané Kératose solaire Epithélioma Mélanome malin
Paupières	Erythème Brûlure Pigmentation Kératose solaire	Kératose solaire Epithélioma
Conjonctive	Photoconjonctivite	-
Cornée	Kératite	-
Iris	-	Mélanome malin
Cristallin	-	Cataracte

– le phototype : plus la peau est claire, plus la sensibilité est grande. On estime par exemple que la sensibilité à l'érythème peut varier d'un facteur 4 à 10 selon l'importance de la pigmentation naturelle ;

– le spectre d'action du rayonnement UV : la réaction est d'autant plus importante que le rayonnement incident présente une répartition spectrale proche des longueurs d'onde spécifiquement absorbées ;

– la durée d'exposition.

Une pigmentation d'apparition précoce, peu intense, due aux UV-A peut s'observer, mais elle s'estompe rapidement dès la cessation de l'exposition. La pigmentation retardée (bronzage) permet une meilleure tolérance aux expositions ultérieures. Par ailleurs, il apparaît un épaississement de la couche cornée qui participe également à l'effet protecteur.

### **Vieillesse cutané et kératose solaire**

Cet effet survient après une exposition prolongée, de l'ordre de plusieurs années, au soleil. La perte d'élasticité est en rapport avec des altérations histologiques au niveau du derme et, en particulier, des altérations des fibres collagènes. La relation dose-effet n'est pas connue. Il existe plusieurs formes cliniques, les zones atteintes sont celles habituellement exposées (visage, cou, décolleté, nuque et dos des mains). Le spectre d'action se situe essentiellement dans les UV-A. Les UV-B y participent à un moindre degré.

La kératose solaire apparaît au décours d'une longue période d'exposition. Elle est considérée comme une lésion pré-épithéliomateuse, car 20 % environ de ces lésions évoluent vers un cancer spino-cellulaire.

### **Phénomènes de photosensibilité**

Les phénomènes de photosensibilité sont le résultat des actions combinées des UV et d'une substance chimique endogène ou exogène.

- Un premier groupe de symptômes est constitué par les photodermatoses idiopathiques. Il semblerait que la formation de photoproduits au niveau dermo-épidermique, dans de nombreux cas, en soit à l'origine. Ainsi, certains sujets peuvent présenter des réactions anormales à la suite d'une simple exposition à la lumière ou aux UV. Ces réactions sont regroupées sous le terme de lucites idiopathiques. Il existe plusieurs formes cliniques telles que l'urticaire solaire, la lucite estivale ou la lucite polymorphe.

- Un deuxième groupe comprend les réactions photoallergiques et phototoxiques provoquées par l'action conjointe des rayons UV et d'un produit chimique appliqué sur la peau ou ingéré et secondairement véhiculé au niveau de la peau.

Les dermatoses phototoxiques de contact sont des réactions érythémateuses de mécanisme non immunologique. Leur topographie est bien limitée aux régions cutanées qui sont à la fois exposées et enduites de la substance responsable. Parmi les substances ayant un potentiel phototoxique, on peut citer :

– certains hydrocarbures aromatiques polycycliques entrant dans la composition des goudrons (anthracène, benzo[a]pyrène) ;

– les principes actifs de certains antibiotiques, psychotropes... ;

– certaines substances présentes dans les plantes (psoralènes) ;

– certains colorants (Disperse blue).

Selon la substance, le spectre d'action des UV se situe dans les UV-A ou les UV-B.

Les réactions photoallergiques sont de mécanisme im-

munologique. Le photoproduit devient alors un allergène de contact. A l'instar des eczémas de contact, ces réactions cutanées sont polymorphes, prurigineuses et de topographie moins bien délimitée au niveau des zones découvertes.

Certains médicaments (pris par voie générale ou en application), certains végétaux et plusieurs produits utilisés dans l'industrie (bisphénol A, salicylanilides halogénés, thiourée) peuvent être responsables de ce type d'effet. Le spectre d'action est constitué par les UV-A et, dans une faible mesure, par les UV-B.

Enfin, certaines maladies générales, comme la porphyrie cutanée tardive, peuvent favoriser l'apparition d'un phénomène de photosensibilité après exposition aux UV.

### **Cancérogenèse**

De nombreuses études épidémiologiques ont montré la dépendance existant entre la prévalence des cancers cutanés et certaines conditions géographiques, telles la latitude, l'altitude et l'importance de la couche nuageuse, ainsi que la durée d'exposition. Néanmoins, il n'existe pas de courbes quantitatives dose-réponse. La peau pigmentée sombre est beaucoup moins sensible à la photocancérogenèse que la peau blanche.

### **Cancers cutanés autres que les mélanomes**

Il s'agit des épithéliomas baso-cellulaires et spino-cellulaires. Les caractéristiques de ces deux types de cancers cutanés ont été établies à partir de résultats d'études épidémiologiques portant dans la plupart des cas sur des populations exposées au rayonnement solaire.

Ces cancers surviennent plus habituellement chez les sujets présentant un faible degré de pigmentation, chez les hommes plutôt que chez les femmes et dans les populations vivant à proximité de l'équateur. La tête et le cou sont les sites anatomiques les plus fréquents.

### **Mélanomes cutanés**

Les mélanomes sont répartis entre trois principaux types histologiques : les mélanomes à extension superficielle, le mélanome nodulaire et le mélanome développé sur lentigo malin ou mélanose précancéreuse de Dubreuilh.

Les mélanomes malins surviennent de façon prédominante chez les sujets à peau claire et chez ceux vivant aux faibles latitudes. Ils surviennent avec la même fréquence dans les deux sexes, mais certaines études mettent en évidence une incidence plus élevée dans la population féminine. Par contre, la répartition anatomique est différente chez l'homme (dos et visage) et chez la femme (jambe). Les populations de niveau socio-économique plus élevé ont un taux plus élevé de mélanomes.

Le tableau II résume les résultats de l'étude bibliographique menée par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC/IARC). Au regard des résultats des enquêtes épidémiologiques et des expérimentations faites chez l'animal, le CIRC propose une évaluation de la carcinogénicité des UV selon leur origine ou leur nature (tableau III).

### **Impact de lésions ou de facteurs de risque préexistants**

Les séquelles dystrophiques des brûlures peuvent être le terrain de carcinomes spino-cellulaires.

L'hérédité, au travers de diverses maladies, expose à un risque quasi certain d'épithéliomatose, soit par défaut de réparation de l'ADN lésé, soit par insuffisance constitutionnelle de protection. La prévention repose sur le dépistage de

ces affections et sur la photoprotection, qui est ici particulièrement indispensable (cf. encadré).

On peut citer :

- la nævomatose baso-cellulaire (syndrome de Gorlin) ;
- l'albinisme ;
- le xeroderma pigmentosum ;
- l'épidermodysplasie verruciforme.

TABLEAU II

**Etude comparative, par type d'enquête épidémiologique, de la relation entre cancers cutanés et type d'exposition aux UV, d'origine solaire et artificielle (d'après [1])**

Type de cancer et enquêtes épidémiologiques	Exposition professionnelle :	
	au rayonnement solaire	à des UV provenant de sources artificielles
<b>Cancers cutanés non mélaniques</b>		
Etudes descriptives	Incidence plus élevée chez les travailleurs en extérieur	Pas de données faute d'études pertinentes
Etudes transversales	Faible association avec le travail en extérieur	
Etudes cas-témoins	Interprétation difficile du fait de nombreux biais	
Etudes de cohortes	Résultats peu probants	
<b>Cancers des lèvres</b>		
Etudes descriptives	Association avec le travail en extérieur	Pas d'études disponibles
Etudes cas-témoins	Idem, mais alcool et tabac pas toujours bien pris en compte	
<b>Mélanomes malins</b>		
Etudes descriptives	Association avec la faible latitude et les zones exposées	Pas d'études disponibles
Etudes cas-témoins	Pas d'association avec le travail en extérieur	Pas d'association, notamment avec le soudage
<b>Mélanome oculaire</b>		
Etudes cas-témoins	Pas d'association (une seule étude)	Association peu probante avec le soudage dans une seule étude

TABLEAU III

**Classification des rayonnements ultraviolets en fonction de leur carcinogénéité pour l'homme (d'après [1])**

Nature du rayonnement	Classification du CIRC	Signification
Rayonnement solaire	Groupe 1	Le rayonnement solaire est cancérigène pour l'homme
UV-A, UV-B et UV-C	Groupe 2 A	Les UV sont probablement cancérigènes pour l'homme
Utilisation de lits à UV ou de lampes solaires à UV	Groupe 2 A	L'utilisation de ces dispositifs est probablement cancérigène pour l'homme

Il existe également des lésions précancéreuses, comme les kératoses solaires, qui peuvent évoluer vers une prolifération carcinomateuse.

**Effets sur l'immunité**

Les UV réduisent le nombre et les potentialités des cellules de Langerhans situées dans l'épiderme. On a pu mettre en évidence chez l'homme comme chez l'animal une suppression temporaire de certaines réactions immunologiques (allergies de contact). Il semblerait que l'altération des fonctions immunitaires au niveau cutané puisse jouer un rôle dans le développement des cancers non mélaniques. Ces aspects de l'action des UV restent encore peu documentés.

**Autres effets**

Certaines maladies peuvent être révélées ou aggravées par une exposition aux UV (herpès labial, lupus érythémateux).

**Appareil visuel [1, 2, 15 à 19]**

Les milieux transparents de l'œil (film lacrymal, cornée, humeur aqueuse, cristallin, corps vitré) filtrent de façon étendue et quasi totalement les UV. De ce fait, la rétine ne reçoit, dans les conditions normales, qu'une très faible proportion d'UV (UV-A de longueurs d'onde supérieures à 320 nm). Les effets au niveau de l'œil concernent donc plus le segment antérieur que le segment postérieur.

Des expérimentations ont été réalisées dans ce domaine. L'étude des caractéristiques optiques chez certains animaux d'expérience (lapin) laissent à penser que celles de leurs milieux transparents sont assez proches de celles de l'œil humain, autorisant un certain degré d'extrapolation des résultats à l'homme.

**Conditions d'utilisation des produits photoprotecteurs [8, 24]**

Plusieurs critères doivent être pris en considération dans le choix d'une crème solaire.

- **Phototype** : la coloration de la peau et des cheveux et certaines caractéristiques cutanées (aptitude au bronzage, facilité d'apparition de coups de soleil, taches de rousseur...) permettent d'en distinguer plusieurs catégories. Plus le teint des sujets est clair (phototypes 1 à 3 par exemple), plus la photoprotection se révèle indispensable.
- **Qualité du produit** : la capacité de filtration du produit retenu doit être la plus étendue vis-à-vis des UV. Ainsi, les UV-B et la plus grande partie des UV-A doivent pouvoir être filtrés. Il n'existe pas actuellement en France de norme en matière d'indice de filtration des produits photoprotecteurs. Néanmoins, l'indice de protection du produit est à adapter au phototype de chaque salarié et il sera préférentiellement choisi parmi les indices de protection les plus élevés dans la gamme commercialisée. En effet, même quand un produit de haute protection est appliqué, il ne faut pas perdre de vue que la protection n'est jamais totale. En conséquence, la photoprotection doit toujours être complétée par d'autres mesures (port d'un chapeau et de vêtements adaptés, limitation de la durée d'exposition...).

Au niveau individuel, des réactions d'irritation ou d'allergie peuvent survenir avec certains produits ; ce type d'antécédent doit être recherché, afin de guider le choix du produit le mieux adapté.

- **Mode d'application** : le produit doit être appliqué sur une peau préalablement nettoyée et séchée, environ 15 minutes avant l'exposition au soleil. La crème doit être simplement étalée sur les parties découvertes, sans chercher à la faire pénétrer. L'application est habituellement à renouveler toutes les 2 heures, plus fréquemment en cas de transpiration profuse. Les lèvres doivent être également protégées par l'application d'un produit filtrant.

## **Atteintes palpébrales**

Les paupières possèdent un revêtement cutané (face antérieure ou externe) participant aux réactions générales de la peau face aux UV. La face postérieure conjonctivale est également concernée et peut être sujette à une conjonctivite actinique.

Les érythèmes (coups de soleil) sont moins fréquents au niveau des paupières qu'au niveau d'autres sites en raison de la protection naturelle apportée par le front et du port éventuel de lunettes. A ce niveau également, les kératoses séniles peuvent dégénérer sous forme d'épithéliomas spinocellulaires qui ont peu tendance à métastaser.

Les UV ont par ailleurs été incriminés dans le développement de pinguécules (dégénérescence hyaline sous-conjonctivale), évoluant vers un ptérygion habituellement localisé au niveau de l'angle interne des paupières.

## **Cornée et conjonctive**

Les UV-B et les UV-C sont absorbés dans leur plus grande partie au niveau de la cornée et de la conjonctive. Une surexposition de ces tissus à ce type d'UV provoque une photokératoconjunctivite (coup d'arc, ophtalmie des neiges). Le maximum de sensibilité pour ce type d'effet se situe dans les longueurs d'onde comprises entre 220 et 310 nm, avec un pic à 270 nm.

Chez l'animal, les lésions cornéennes (opacité, exfoliation...) apparaissent pour des doses d'UV-B (295 nm) supérieures à 0,05 J/cm<sup>2</sup>.

## **Cristallin**

La cataracte est caractérisée par une opacification du cristallin, qui est habituellement irréversible. La cornée absorbe les UV-B, mais laisse passer les UV-A (longueurs d'onde situées au-delà de 315 nm) qui sont arrêtés pour leur plus grande part par le cristallin.

Les réactions métaboliques de ces rayonnements sur les éléments cellulaires ne sont pas encore élucidées. Il semblerait que ce type d'UV entraînerait la formation de chromophores par dénaturation des protéines. Ces chromophores seraient responsables du jaunissement du noyau et de la formation d'une cataracte. Chez l'animal (lapin, souris) des cataractes ont pu être produites après expositions aux UV.

## **Rétine et corps vitré**

Chez l'adulte, seule une faible proportion (entre 0,3 et 10 %) des UV, comprise entre 330 et 400 nm, atteint la rétine. L'atténuation des UV-B et des UV-A par la cornée et le cristallin est habituellement suffisante pour exclure l'existence d'effets aigus au niveau rétinien.

La situation est différente lors de l'extraction du cristallin puisque les UV de 320 à 400 nm peuvent alors l'atteindre. En effet, le cristallin joue le rôle d'atténuateur naturel pour les longueurs d'onde entre 320 et 400 nm.

Aucune enquête épidémiologique n'a mis, à ce jour, en évidence l'existence de pathologie rétinienne à la suite d'une exposition habituelle au rayonnement solaire.

## **Cancers oculaires**

Il n'existe pas à ce jour de preuve évidente que les UV puissent provoquer des tumeurs intra-oculaires, dont les mélanomes, au niveau de la chambre antérieure de l'œil après une exposition au soleil ou à une source artificielle (tableau II).

## **EFFETS AU DECOURS D'EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES** [1 à 4, 8, 10, 11, 15, 20]

### **Professions exposées**

Il est difficile d'établir une liste exhaustive des professions exposées. On peut néanmoins distinguer le travail en extérieur, où les salariés sont essentiellement exposés au rayonnement solaire et le travail réalisé à l'intérieur de locaux, où les salariés peuvent être exposés à des sources artificielles.

Concernant les travailleurs, un certain nombre de caractéristiques se dégagent :

- ce sont les salariés à peau claire qui sont le plus à risque ;
- la population masculine est, en proportion, plus grande dans l'ensemble des postes exposés que la population féminine ;
- plus la durée d'exposition est longue, plus le risque d'apparition d'effets adverses (essentiellement au niveau du revêtement cutané) est grand, sauf peut-être pour le mélanome malin.

### **Travailleurs en extérieur**

Dans cette catégorie, peuvent être cités les secteurs ou les types d'emploi suivants :

- les employés municipaux ;
- les jardiniers ;
- les salariés du bâtiment et des travaux publics ;
- les salariés affectés à l'entretien des systèmes de communication (rail, lignes électriques, gaz) ;
- les salariés des secteurs agricole, de la pêche et de l'élevage ;
- les forestiers ;
- les salariés des mines à ciel ouvert.

### **Travailleurs en intérieur**

Il s'agit des procédés utilisant une source de rayonnement capable de produire une proportion significative d'UV, comme par exemple :

- les travaux de soudure (qui peuvent être également réalisés à l'extérieur) ;
- l'utilisation des lampes germicides ;
- le séchage des encres en imprimerie.

### **Importance des effets de l'exposition professionnelle**

Par rapport à l'exposition au rayonnement solaire, il existe quantitativement peu d'études consacrées à l'exposition professionnelle aux sources artificielles d'UV.

En milieu de travail, la détermination d'une plus forte prévalence d'effets précoces ou retardés reste, pour l'heure, à établir (tableau II).

## **PREVENTION** [5, 10, 21 à 24]

La démarche en matière de prévention comporte plusieurs phases : identification et quantification du risque, mesures de prévention technique et médicale.

## Identification du risque

Les études de postes permettent d'identifier les sources (naturelles et/ou artificielles) susceptibles d'exposer un travailleur aux UV. A cette occasion, il est souvent nécessaire de procéder à une métrologie lors de la mise en service des appareillages, puis à intervalles réguliers, afin d'objectiver la présence et la permanence de l'émission d'UV par une source présumée.

Les études de postes permettent également d'évaluer les modalités d'exposition (zones exposées, fréquence et durée) de chaque travailleur concerné.

## Quantification du risque

Il s'agit de caractériser quantitativement les paramètres du rayonnement UV de la source. Ces paramètres sont :

- la répartition spectrale (par exemple, par bande de 1 à 5 nm) ;
- l'éclairement énergétique ;
- le débit de dose.

Ces données permettent de déterminer le risque présenté par la source grâce au calcul de l'éclairement énergétique efficace en  $W/m^2$  ou en  $mW/cm^2$ . Ce résultat est à comparer au tableau des valeurs limites d'exposition qui fixe la durée admissible d'une exposition quotidienne.

Des valeurs limites indicatives ont été publiées par l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) et par l'International Radiation Protection Association (IRPA).

Il existe des appareils de mesure, en général assez coûteux, qui permettent d'évaluer l'exposition aux UV. Lors des mesures, il convient de respecter certaines précautions, touchant notamment à la géométrie de la source, afin de ne pas sous-estimer l'exposition.

## Mesures de prévention technique

Un projet de directive européenne réactualisant les dispositions de la directive 80/1107/CEE est actuellement en cours de discussion. Elle concerne spécifiquement la protection des salariés aux agents physiques. Son domaine d'application recouvre notamment les expositions aux UV.

L'objectif est d'éviter ou de réduire l'exposition au niveau le plus bas réalisable. Les recommandations en matière de valeurs limites sont basées sur les valeurs limites proposées par l'ACGIH 1992-1993 [21]. A partir de ces valeurs limites, sont définis des niveaux d'action en fonction de niveaux plafonds (valeurs de l'ACGIH) et de niveaux seuils (la moitié des niveaux plafonds).

Si l'exposition atteint ou dépasse les niveaux seuil ou plafond, des mesures de protection doivent être instituées. Ces dernières sont pour l'essentiel de nature technique et reposent sur l'association d'une ou de plusieurs des mesures suivantes afin de diminuer l'intensité et la fréquence des expositions :

- la formation et l'information des travailleurs ;
- la mise à disposition d'équipements de protection individuelle (port de lunettes et de vêtements protecteurs) ;
- la délimitation des zones et la limitation de leur accès ;
- un programme de mesures techniques et/ou d'organisation du travail visant à réduire l'exposition.

## Prévention médicale

L'exposition aux UV d'origine naturelle ou artificielle ne relève pas en elle-même d'une surveillance médicale spéciale. Néanmoins, le projet de directive [22] prévoit une surveillance de l'état de santé en fonction de l'importance du risque. En particulier, il est spécifié qu'elle doit être systématique si l'activité implique le port de protection individuelle et en cas de présomption d'une surexposition dangereuse.

Les effets adverses peuvent être reconnus assez aisément au cours des examens médicaux périodiques. La connaissance des conditions de travail (tiers temps), l'interrogatoire et/ou un questionnaire (portant sur le poste, le mode d'exposition, la symptomatologie antérieure, les moyens individuels de protection...), un examen clinique du revêtement cutané et un examen des milieux transparents de l'œil permettent d'effectuer un suivi régulier satisfaisant et de dépister précocement l'apparition d'une anomalie.

Le médecin du travail participe à l'information des travailleurs. Il les conseille utilement afin que leur aptitude soit préservée, qu'ils soient exposés au soleil ou à une source artificielle. L'information dispensée sera adaptée à différents critères, tels le phototype du salarié, les conditions d'exposition et d'autres facteurs comme les activités de loisirs ou l'utilisation de produits photosensibilisants (cosmétiques ou médicaments).

Enfin, l'information portera à la fois sur les risques liés aux conditions réelles de l'exposition (nature, durée, intensité) et sur les différentes possibilités de prévention ayant trait, selon le cas, au respect des consignes existantes vis-à-vis de l'exposition, à l'utilisation correcte de la source, au port de protections individuelles adaptées ou à l'application de produits photoprotecteurs sur les zones découvertes (cf. encadré).

## CONCLUSION

Parmi les effets secondaires liés à l'exposition aux UV, les plus préoccupants en médecine du travail sont les cancers induits au niveau du revêtement cutané. Les difficultés d'établir une relation certaine à l'activité professionnelle tiennent à leurs longs délais d'apparition et aux possibles associations à des facteurs ou à des expositions autres, en particulier au cours des activités de loisirs.

Les mesures de prévention primaire (suppression des expositions) ou secondaire (réduction du nombre de salariés exposés et niveau des expositions le plus faible possible) peuvent être mises en place de manière relativement simple et être suffisamment efficaces, dès lors que l'on dispose d'une évaluation complète des conditions d'exposition.

Sur le plan biologique deux éléments sont à retenir :

- il existe un spectre d'action pour l'obtention d'un effet donné ;
- la gravité des lésions est fonction de la durée d'exposition et de la dose totale reçue.

Compte tenu des évaluations du CIRC et des données trop parcellaires de la littérature, il serait intéressant de réaliser des enquêtes épidémiologiques plus approfondies en milieu de travail.

Des enquêtes descriptives permettraient de mieux préciser les caractéristiques des populations exposées de façon habituelle aux UV, de quantifier le niveau des expositions et la prévalence des effets attendus. Des enquêtes étiologiques permettraient de mieux cerner l'existence de relations causales (relation dose-effet) en tenant compte des différents biais connus, notamment des synergies avec d'autres types d'expositions, professionnelles ou non.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans n° 55 – Solar and ultraviolet radiation. Lyon, CIRC/IARC, 1992, 316 p.
- [2] IRPA Guidelines on protection against non-ionizing radiation – the collected publications of the IRPA non-ionizing radiation committee. Oxford, Pergamon Press, 1991, 125 p.
- [3] YOST M.G. – Occupational health effects of non-ionizing radiation. *Occupational Medicine*, 1992, 7, 3, pp. 543-566.
- [4] SNEYD M.J., ELWOOD M. – UV radiation, skin cancers and workplace exposure. *Occupational Health Review*, 1992, 37, pp. 13-16.
- [5] SUESS M.J., BENWELL-MORISON D.A. – La protection contre les rayonnements non-ionisants, 2<sup>e</sup> éd. Copenhague, OMS, 1991, Série européenne n° 25, 346 p.
- [6] MAYER A. – Le rayonnement ultraviolet visible et infrarouge. *Travail et Sécurité*, 1982, 7-8, pp. 379-387.
- [7] DUTREIX J., DESGREZ A., BOK B., VINOT J.H. – Biophysique des radiations et imagerie médicale, 3<sup>e</sup> éd. Paris, Masson, 1993, 320 p.
- [8] LACHAPPELLE J.M., FRIMAT P., TENNSTEDT D., DUCOMBS G. – Dermatologie professionnelle et de l'environnement. Paris, Masson, 1992, 372 p.
- [9] SLINEY D.H. – Ultraviolet studies. In : Non-ionizing radiation. Proceedings of the second International Non-Ionizing Radiation Workshop. Vancouver, University of British Columbia, 1992, pp. 268-288.
- [10] DE GUIRE L., DROUIN L. – Les rayons ultraviolets et la santé. *Travail et Santé*, 1992, 8, 2, pp. 29-33.
- [11] MATELSKY I. – Radiation, ultraviolet, visible and infrared. In : Encyclopaedia of occupational health and safety. Genève, BIT, 1983, pp. 1879-1881.
- [12] Aspects sanitaires des installations de bronzage aux UV, avis du comité de l'IRPA sur les rayonnements non ionisants. *Radioprotection*, 1992, 27, 2, pp. 200-207.
- [13] EMMET E.A. – Phototoxicity and photosensitivity reactions. In : ADAMS R.A. – Occupational skin disease, 2<sup>e</sup> éd. Philadelphie, W.B. Saunders Co, 1990, pp.184-193.
- [14] PARRISH J.A., JAENICKE K.F., ANDERSON R. – Erythema and melanogenesis action spectra of normal human skin. *Photochemistry and Photobiology*, 1982, 36, 2, pp. 187-191.
- [15] HAM W.T. – Ocular hazards of light sources : review of current knowledge. *Journal of Occupational Medicine*, 1983, 25, 2, pp. 101-103.
- [16] PITTS D.G., TREDISH T.J. – The effects of ultraviolet on the eye. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1971, 32, 4, pp. 235-246.
- [17] SLINEY D.H. – Biohazards of ultraviolet, visible and infrared radiation. *Journal of Occupational Medicine*, 1983, 25, 3, pp. 203-206.
- [18] VAN KUIJK F.J.G.M. – Effects of ultraviolet light on the eye : role of protective glasses. *Environmental Health Perspectives*, 1991, 96, pp.177-184.
- [19] CATROS A., MUR J. – Les lésions oculaires dues aux ultraviolets et aux infrarouges. *La Clinique Ophthalmologique*, 1987, 1, pp. 21-38.
- [20] WHILLOCK M., CLARK I.E., MCKINLAY A.F., TODD C.D., MUNDY S.J. – Ultraviolet radiation levels associated with the use of fluorescent general lighting, UV-A and UV-B lamps in the workplace and home. Chilton, National Radiobiological Protection Board, 1988, 27 p.
- [21] 1992-1993 Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati, ACGIH, 1992, pp. 124-127.
- [22] Proposition de Directive du Conseil concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques. *Journal Officiel des Communautés Européennes*, 18 mars 1993, n°s C.77/12-C.77/29.
- [23] HEE G., BARBARA J.J., GROS P. – Valeurs limites d'exposition aux agents physiques en ambiance de travail. *Cahiers de Notes Documentaires*, 1992, 148, pp. 297-318.
- [24] Guidance note for the protection of workers from the ultraviolet radiation in sunlight. Canberra, Worksafe Australia, National Occupational Health and Safety Commission, 1991, 26 p.