© Gaël Kerbaol/INRS

Rayonnements optiques artificiels

Premiers pas en terre méconnue

Drôle de paradoxe : alors que les rayonnements optiques sont très largement utilisés, leurs effets sur la santé sont rarement connus. En adoptant une nouvelle réglementation afin de protéger les salariés contre les rayonnements, les pouvoirs publics nationaux et européens s'engagent sur un terrain relativement vierge pour la grande majorité des entreprises.

Dossier réalisé par Jean-Paul Richez, avec Jérôme Lemarié.

Exposition professionnelle

Les inconnues des technologies à rayon

Conscients des effets des rayonnements optiques sur la santé, les pouvoirs publics français et européens adoptent de nouvelles dispositions. Leur première préoccupation : favoriser le repérage et l'évaluation des sources présentant un risque élevé pour la santé. En effet, l'exposition des salariés tend à s'accroître à la faveur d'une mutation dans la technologie des ampoules d'éclairage et des procédés industriels incorporant des lampes à usage spécifique.

© Gaël Kerbaol/INRS

« *Éclairer mieux et dépenser moins d'énergie* », tel est le slogan affiché par l'Union européenne. Pour y parvenir, elle agit en resserrant progressivement les exigences de consommation électrique des différentes catégories d'ampoules. Les produits d'éclairage domestique sont les premiers concernés, avec notamment le retrait des ampoules à incandescence et halogènes traditionnelles depuis le 1er septembre 2009 (*cf. encadré*). À la fin de l'année 2012, elles ne seront plus fabriquées. Les produits d'éclairage tertiaire, tels que les lampes fluorescentes à décharge et les installations d'éclairage public font l'objet de mesures séparées mais visent la même échéance de 2020.

La démarche engagée par

Les recommandations de l'Anses

L'Anses recommande, dans un rapport publié en octobre 2010 (1), que « *les éclairages* [à LED] *les plus à risque* [soient] *réservés à des utilisations professionnelles dans des conditions permettant de garantir la sécurité des travailleurs* ». Elle incite les fabricants et intégrateurs de systèmes d'éclairage à LED à « *concevoir des systèmes d'éclairage ne permettant pas une vision directe du faisceau émis par les LED, afin de prévenir l'éblouissement* » et « *recommande d'utiliser des dispositifs optiques pour limiter les luminances perçues directes ou réfléchies et rendre les sources de lumière à LED plus diffuses* ». Elle invite les professionnels concevant ces systèmes à appliquer « *l'ensemble des normes relatives à la qualité de l'éclairage* » et invite à « *préciser les conditions de mesure et d'évaluation des systèmes à LED* » par une mesure spécifique. L'Anses recommande le marquage des sources LED selon les classes de risques (0 à 3). Elle recommande également de « *développer des moyens de protection adéquats (type lunettes de protection optique spécifique aux LED)* » pour les travailleurs particulièrement exposés à un éclairage à LED.

1. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environement et du travail. *Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED)*, Anses, octobre 2010.

J. L.

nements optiques

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le nombre de personnes exposées à des sources artificielles de rayonnements optiques s'accroît.

l'Union européenne accélère la mutation des technologies d'éclairage et favorise l'émergence de produits dont les effets sanitaires sont mal évalués, notamment en ce qui concerne l'énergie lumineuse et le rayonnement ultraviolet. Or, selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le nombre de personnes exposées à des sources artificielles de rayonnement utilisés dans l'industrie, le commerce et les loisirs s'accroît. Et, qu'ils soient naturels ou artificiels, les rayonnements ultraviolets figurent parmi ses préoccupations pour les populations les plus fragiles et les plus exposées.

Il est d'autant plus nécessaire d'être vigilants qu'en 2009 le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé « cancérogènes certains pour l'homme (groupe 1) » les rayonnements UV solaires comme ceux émis par les installations de bronzage. Ces évolutions sont d'ailleurs suivies avec attention en France par les agences gouvernementales en charge de la veille sanitaire : les lampes à diodes électroluminescentes (LED) ont donné lieu à un rapport d'expertise de l'Anses en 2010, et l'innocuité des ultraviolets A a été remise en cause par plusieurs études citées en 2005 par l'Afsset/Anses ([1]).

Parallèlement, le Parlement européen a adopté en 2006, dans la continuité des directives sociales européennes relatives aux principaux agents physiques, une directive visant à organiser la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels. Un décret l'a transposée en France, en 2010, dans le Code du travail ([2]). Son champ d'application concerne toutes les sources rencontrées en milieu professionnel : appareils d'éclairage intérieur, procédés industriels mettant en œuvre des métaux en fusion, le soudage à l'arc, le réchauffage dans des fours comme en verrerie, ou bien des lampes à usage spécial comme en imprimerie, en milieu médical ainsi qu'en contrôle qualité.

© Gaël Kerbaol/INRS

Les salariés soumis à des sources émettant des énergies lumineuses intenses bénéficient d'une prise en charge légale en cas de déclaration d'une atteinte oculaire.

L'exposition professionnelle mal appréhendée

L'enquête nationale de médecine du travail Sumer réalisée en 2003 estime qu'environ 210 000 salariés français sont exposés aux rayonnements optiques artificiels visés par ce décret. Parmi ceux-ci, 25 % y sont exposés plus de 20 heures par semaine. Toutefois, les salariés de l'industrie du spectacle n'ont pas été pris en compte. Les acteurs, les choristes, les musiciens, les chanteurs, les figurants et les techniciens éclairagistes sont exposés aux rayonnements optiques émis principalement par les projecteurs de scène. Selon le rapport du Conseil national des professions du spectacle, sur 134 000 professionnels du spectacle, 45 000 artistes sont susceptibles d'être exposés de façon régulière aux dispositifs d'éclairage scénique, et 70 000 techniciens ou autres personnels, de façon plus épisodique. Mais les données épidémiologiques disponibles

Avec les LED, la vie est plus belle

Utilisées depuis de nombreuses années dans l'électronique comme sources de lumières faibles et monochromatiques, les diodes électroluminescentes ou LED sont aujourd'hui largement utilisées dans les systèmes d'éclairage : feux de signalisation, feux des véhicules, éclairages domestiques… Leur fonctionnement repose sur la polarisation d'un semi-conducteur par application d'une tension qui provoque l'émission de photons. Un rayonnement quasi monochromatique est émis, dont la longueur d'onde dépend du semi-conducteur utilisé. Les LED sont caractérisées par un déséquilibre spectral dans le bleu (plus forte proportion de lumière bleue, permettant de rendre la lumière émise plus « blanche »), de fortes luminances et un effet stroboscopique. Comparées aux autres types d'éclairage, les LED présentent deux avantages majeurs : une meilleure efficacité énergétique (100 à 150 lm/W contre 10 à 15 lm/W pour les lampes à incandescence) ; une durée de vie 50 fois supérieure (50 000 h) à celle des lampes à incandescence et 3 à 5 fois supérieure à celle des lampes fluorescentes compactes. Toutefois, la « qualité » de la lumière émise par les LED n'est pas encore optimale.

J. L.

restent fragmentaires. Car les risques sanitaires liés à la mise en œuvre de nouvelles technologies d'éclairage sont encore mal appréhendés.

L'expertise collective publiée en 2010 par l'Anses portant sur le cas particulier des LED en fait le constat : « *Considérant le manque de données sur l'exposition de la population à la lumière* » les experts recommandent d'engager des études afin d'en caractériser et d'en étudier l'exposition. Les données relatives aux activités industrielles traditionnelles sont rares. Pourtant, les salariés soumis à des sources émettant des énergies intenses, notamment les fours en verreries et fonderies, les forges et les postes de soudage à l'arc, bénéficient d'une prise en charge légale en cas de déclaration d'une atteinte oculaire : tableau des maladies professionnelles n° 71 pour la cataracte du verrier. Une surveillance médicale renforcée est prévue pour les personnels effectuant des « *travaux exposant à de hautes températures, à des poussières ou émanations toxiques et concernant le traitement des minerais, la production des métaux et des verreries* ».

La prévention en milieu professionnel des pathologies dermiques est encore moins avancée. Rappelons que 80 000 à 90 000 nouveaux cas de cancer de la peau sont diagnostiqués en France chaque année, toutes populations confondues. Les mélanomes représentent 10 % de ces cas. Mais, selon l'Institut national du cancer, 1 300 personnes meurent chaque année d'un cancer cutané. L'incidence du mélanome croît depuis plusieurs décennies : « *Le lien de l'exposition aux UV avec le mélanome est complexe* (...), explique, en 2004, Marie-Noëlle Crépy, dermatologue. *Certaines études en milieu professionnel montrent une augmentation significative du mélanome des salariés exposés aux lampes d'imprimerie, à l'arc des électrodes de soudage, aux lumières fluorescentes.* » [3]

Récemment, la Carsat Rhône-Alpes et le Centre interrégional de mesures physiques (CIMP) de Clermont-Ferrand ont été sollicités à la suite de trois déclarations de cancer cutané par des salariés d'un établissement de la grande distribution. « *L'enquête que nous avons menée, avec l'appui de l'INRS, nous a conduits à établir que le niveau de rayonnements optiques émis par des lampes du stand alimentaire était supérieur aux valeurs limites d'exposition*, relève Bernard Sanselme, le technicien du CIMP. *Cette situation peut être évitée par la mise en place de verres protecteurs classiques et le respect des distances de sécurité prévues par les normes.* »

Actions sectorielles

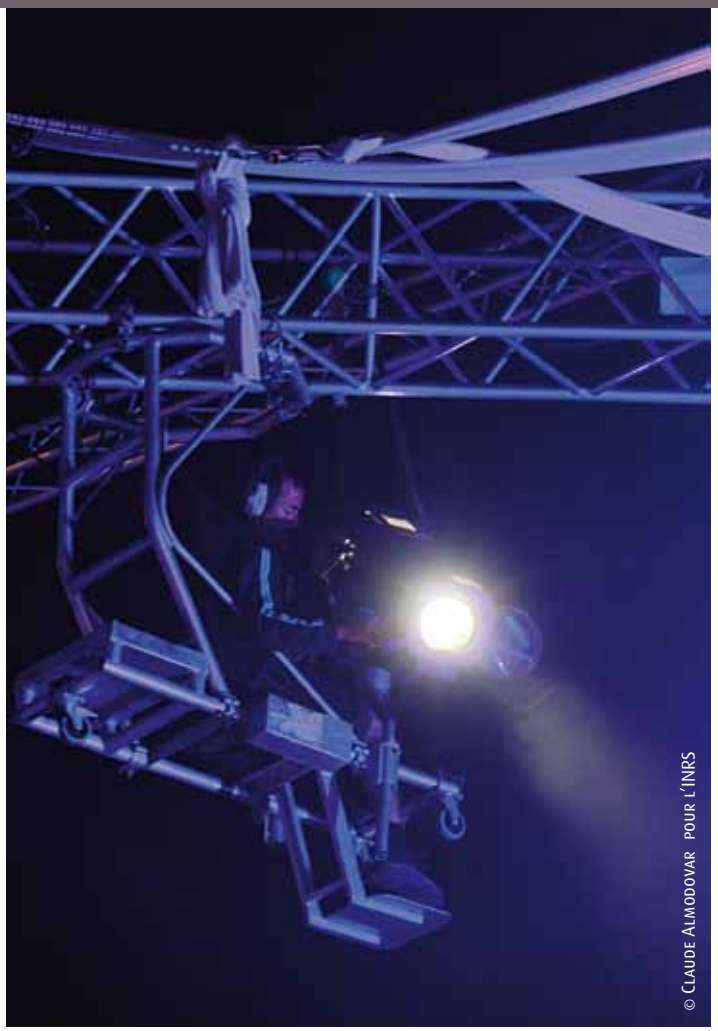
Face à ces difficultés de repérage et pour aider les entreprises à situer les niveaux d'exposition des situations de travail soumises à des sources de rayonnement optique artificiel, l'INRS a développé en 2000 l'outil de calcul appelé « CatRayon ». Cet outil est couplé à plusieurs bases de données répertoriant 400 sources les plus courantes : lampes d'éclairage électrique, lampes à usage spécial et une grande variété de sources rencontrées dans des process industriels émettant des rayonnements ultraviolets et infrarouges. « *Partant des données communiquées par l'utilisateur – nature de la source, position par rapport à l'opérateur,*

Lampes de substitution

Afin de répondre aux dispositions de l'Union européenne, les fabricants de produits d'éclairage ont développé des technologies alternatives et proposent des ampoules de substitution : lampes à incandescence améliorées moins gourmandes et surtout, lampes « fluocompactes » qui consomment de 65 % à 80 % d'énergie en moins pour la même intensité lumineuse. Les lampes à diode électroluminescente (DEL, plus connues sous l'acronyme anglais LED), aux performances similaires, voire supérieures, commencent seulement à être commercialisées. Par ailleurs, les lampes à caractère technique font l'objet de mesures particulières. Il s'agit de lampes qui ne sont pas destinées à l'éclairage intérieur et pour lesquelles il n'existe pas d'alternative. Ces lampes sont conçues pour fonctionner dans des conditions de températures extrêmes : le fabricant est tenu d'en spécifier les caractéristiques techniques.

Plus de 210 000 salariés français seraient exposés aux rayonnements optiques artificiels dont 25 % au-delà de 20 heures par semaine.

© Vincent Grémillet pour l'INRS


© Claude Almodovar pour l'INRS

Les salariés de l'industrie du spectacle sont exposés aux rayonnements optiques émis principalement par les projecteurs de scène.

distance et durée d'exposition journalière –, CatRayon permet, par comparaison avec les valeurs limites d'exposition de référence, de déterminer les domaines spectraux qui présentent un risque », commente Serge Salsi, expert à l'INRS.

Adopté par différents homologues européens de l'INRS travaillant sur les rayonnements optiques, cet outil permet d'engager des actions sectorielles de façon collective. Les professionnels du groupe de travail, composé de l'INRS, de fabricants de projecteurs, de producteurs de spectacles et du CCHSCT production cinématographique, ont souhaité l'adapter à ses spécificités. « *Les développements en cours avec l'INRS devraient nous permettre de trouver des solutions d'implantation optimales des projecteurs du point de vue de la sécurité* », explique Stanislas Surun, membre de la commission sécurité du Conseil national des professionnels du spectacle (CNPS).

Dans les Ardennes, une dizaine de forges du département ont bénéficié du concours de la Carsat Nord-Est pour réaliser l'évaluation du risque optique lié aux rayonnements infrarouges et UV aux postes d'estampage. « *Nous avons recueilli les données nécessaires au calcul, et les valeurs estimées seront communiquées aux différents établissements par la Caisse régionale* », commente Alain Becker, technicien du CIMP de l'Est. Les indices de risque, rapport entre le niveau de rayonnement reçu et la valeur limite d'exposition (*cf. glossaire p. 27*), sont surtout préoccupants dans l'infrarouge. Certains postes de contrôle qualité ou situations de travail dans lesquelles on utilise la flamme de chalumeau sont également concernés par l'exposition aux rayonnements UV, avec un indice de risque défavorable.

Marquage informatif et prévention

L'INRS et les CIMP des Carsat finalisent actuellement un document de sensibilisation destiné à aider les employeurs à repérer les situations de travail critiques. Il doit permettre de distinguer les situations de travail où l'exposition aux rayonnements optiques artificiels présente un risque négligeable ou nul, de celles pour lesquelles le risque est avéré. Dans le premier cas, les mesures prévues par le décret ne s'imposent pas. Dans tous les cas, l'employeur devra évaluer les risques résultant de l'exposition aux ROA. En cas de risque, l'employeur met en œuvre les principes de prévention prévus aux articles R. 4452-1 à R. 4452-31 (conditions d'évaluation des risques, VLEP [4]), moyens et mesures de prévention, information et formation des travailleurs, suivi des travailleurs et surveillance médicale).

Autres démarches engagées pour faciliter le repérage : le projet de norme du Comité européen de normalisation « Classification des sources non électriques de rayonnement optique artificiel incohérent », auquel l'INRS participe. Il devrait être finalisé dans quelques mois. Ce projet classe les « sources non électriques » en sept groupes de risques : du groupe 0 : sans risque ; au groupe 6 correspondant à un risque très élevé. En outre, la norme internationale de 2008 EN 62-471 définissant les classements des lampes d'éclairage est également en cours de mise à jour. En France, le Syndicat de l'éclairage, qui participe aux travaux de l'Union technique de l'électricité, le bureau de normalisation du domaine électrotechnique, souligne « *la nécessité d'informer la filière professionnelle, mais surtout les maîtres d'ouvrage, publics et privés et les gestionnaires de bâtiments, sur le respect des prescriptions normatives* ». Il constate que la technologie d'éclairage à LED est appelée à remplacer une grande partie des technologies existantes. « *Il convient donc d'accompagner son développement par des normes et réglementations appropriées, assurant qualité d'éclairage et sécurité d'utilisation*. »

1. Anses : Agence nationale pour la sécurité sanitaire de l'alimentation, l'environnement et le travail ; cette agence a repris les missions de l'Afsset qui a publié en 2007 un rapport intitulé *Ultraviolets. État des connaissance sur l'exposition et les risques sanitaires*. Disponible sur le site de l'Anses, www.anses.fr.

2. Articles R. 4452-1 à R. 4452-31 du Code du travail issus du décret n° 2010-750 du 2 juillet 2010 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels.

3. Crépy M.N.« Photosensibilisation, cancers cutanés et exposition aux ultraviolets », *Documents pour le médecin du travail* n° 97, 2004, p 112. Disponible sur www.dmt-prevention.fr.

4. Les VLEP prévus par le Code du travail correspondent à 7 domaines de longueurs d'onde différents ; ce sont celles recommandées par l'International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) : 11 VLE spécifiées par l'article R. 4452-6 du Code du travail.

J.-P. R.

Lumière artificielle

La maîtrise des risques ne coule pas de

Les compétences en matière de rayonnements optiques artificiels restent l'apanage des spécialistes. Séverine Brunet, chef du département Ingénierie des équipements de travail (IET) du Centre INRS de Lorraine présente les développements en cours visant à transférer ces savoirs et savoir-faire à un public plus large.

Travail & Sécurité. Les rayonnements optiques artificiels deviennent une préoccupation de la santé au travail. Pourquoi ?

Séverine Brunet, chef du département IET à l'INRS. L'adoption de nouvelles règles destinées à protéger les salariés contre les rayonnements optiques artificiels se situe dans la continuité des directives sociales européennes relatives aux principaux agents physiques. Il s'agit de nuisances couramment rencontrées en milieu de travail, telles que le bruit, les vibrations et les champs électromagnétiques. Nous en sommes à peu près au stade où nous nous trouvions, il y a dix ans, en matière de vibrations. Au cours de la dernière décennie, nous avons participé, dans ce domaine, à la mise au point d'une méthode d'évaluation, d'outils de diagnostic et d'appareils de métrologie. Nous contribuons à une action normative qui a fait progresser les règles de conception des équipements de travail.

En ce qui concerne la maîtrise des risques liés aux rayonnements optiques émis par des lampes, c'est un peu le désert. Les connaissances sur l'exposition pendant le travail et ses effets sur la santé sont réduites. Contrairement au bruit ou même aux vibrations, le niveau d'émission du rayonnement optique est peu perceptible. Et si la gêne s'avère notable, le déclenchement d'un trouble pour la santé, voire d'une maladie, n'est pas immédiat. Il en résulte que les entreprises se sentent généralement peu concernées. Autre conséquence : les relais en prévention sont peu nombreux et les actions engagées au niveau du terrain comme en direction des constructeurs d'équipements utilisant des sources artificielles sont limitées. Enfin, des appareils de mesure adaptés aux différents domaines spectraux existent, mais leur mise en œuvre exige un personnel expérimenté.

Le mesurage s'avère difficile en raison de son caractère technique, du manque de personnel qualifié, mais

© Gaël Kerbaol/INRS

aussi de son coût. Dernier constat : dans certains domaines d'activité comme la verrerie-cristallerie, la fonderie, le soudage ou la forge les atteintes à la santé sont rares mais identifiées depuis longtemps comme le démontrent les missions d'assistance que nous assurons dans ce domaine. En France, la cataracte est inscrite au tableau des maladies professionnelles n° 71 depuis 1984 ([1]). Les secteurs d'activité concernés sont cependant très spécifiques. Ils n'ont pas, jusqu'ici, conduit à une préoccupation plus globale de santé au travail.

Qu'est-ce qui explique cette récente prise de conscience ?

S. B. Les questions de santé au travail et de santé publique sont de plus en plus corrélées. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) se préoccupe des effets du rayonnement ultraviolet sur la santé. L'exposition prolongée aux rayonnements UV peut avoir des effets aigus et chroniques aux niveaux cutané, oculaire et immunitaire ([2]). Cette préoccupation commence à se faire sentir dans certaines entreprises ou domaines d'activité. L'INRS, et notamment nos équipes en charge du rayonnement optique, prennent en compte cette nouvelle demande. Aux sollicitations des entreprises engagées dans les activités traditionnelles déjà citées, s'ajoutent désormais les industries du spectacle et tous ceux qui utilisent des sources optiques mises en œuvre dans des technologies en développement : médecine et soins du corps, hygiène-propreté, contrôle qualité, imprimerie traditionnelle et numérique, chimie des polymères, agroalimentaire...

Les domaines d'application se diversifient et les salariés concernés n'ont pas toujours les connaissances requises pour éviter la surexposition ou l'exposition accidentelle. Cette diffusion large des techniques optiques concerne des entreprises dont l'effectif salarié est parfois faible. Pour mieux répondre à cette demande, nous devons capitaliser l'expérience acquise tant en développement des connaissances et évaluation des risques qu'en métrologie. Dans cette perspective, nous avons développé depuis quelque temps l'outil logiciel CatRayon. Il est ainsi possible d'évaluer par calcul l'exposition des personnes à des sources de rayonnements optiques.

L'INRS assiste les entreprises et les relais en santé au travail confrontés à ce risque dans des activités diffuses. Quels sont les développements en cours ?

S. B. Les actions déjà menées dans le domaine de l'acoustique ou bien en vibration nous guident. Notre programme s'appuie sur trois principaux axes : la sensibilisation des différents publics, le transfert de connaissances, la métrologie.

Sensibilisation. Nous partons du constat que les risques liés aux rayonnements optiques sont méconnus au sein des entreprises. Il n'y a donc pas d'anticipation pour en maîtriser les effets nocifs éventuels pour la santé. J'en veux pour preuve l'absence de leur prise en compte dans l'évaluation des risques. De plus, nous travaillons en normalisation pour établir un classement des sources qui permettra aux fabricants de mettre à la disposition des entreprises des informations précises par un système d'étiquetage informatif simple. Dans la même perspective, nous nous apprêtons à diffuser un document de sensibilisation élaboré avec les Caisses régionales. Les rayonnements optiques artificiels concerne toutes les entreprises. Il s'agit principalement d'aider les utilisateurs de sources à identifier les situations de travail ne présentant pas de risque. Et de détecter celles pour lesquelles il est avéré : environ 5 % des établissements seraient concernés. Les différents supports d'information programmés permettront aux Carsat d'organiser des actions d'information touchant un public large.

Transfert de connaissances et relais. Il s'agit d'abord d'agir au niveau des relais. Nous constatons que les organismes compétents pour aider les entreprises sont quasi inexistants. Malgré des compétences en matière d'éclairage, les Centres de mesures physiques des caisses régionales ne disposent pas encore d'une gamme d'outils suffisante. Plusieurs d'entre eux contribuent cependant à alimenter les bases de données CatRayon. L'INRS a accumulé une expérience suffisante pour capitaliser les acquis dans ce domaine et les diffuser à l'ensemble du réseau de l'Institution prévention, mais également à tous les intervenants en prévention des risques professionnels. Le référentiel et le module de formation sont en cours d'élaboration.

Métrologie. L'étude des appareils de mesure existants que nous avons conduite, couplée aux essais que nous avons menés, montre qu'il n'existe pas d'appareil polyvalent fiable couvrant les différents domaines spectraux et permettant de réaliser les mesures pour un coût modéré. Nous comptons faire évoluer les appareils existants pour qu'ils répondent à ces critères. Le travail engagé doit permettre de mettre à la disposition des utilisateurs et des préventeurs toutes les données nécessaires. Ces informations seront diffusées avec des guides méthodologiques et de métrologie.

1. 84 cas de « cataracte du verrier » ont été reconnus entre 1995 et 2004. La cataracte est liée au rayonnement infrarouge proche et moyen émis par le verre ou le métal portés à l'incandescence. *Verrier et cataracte*, D. Guldner. Archives des maladies professionnelles et de l'environnement, 2008, 69, n° 5/6, 752-753.

2. L'OMS est à l'origine du projet Intersun qui vise à développer des recherches sur les effets sanitaires de l'augmentation du rayonnement ultraviolet, notamment du cancer de la peau, en raison de la destruction de la couche d'ozone stratosphérique.

Propos recueillis par J.-P. R.

Yeux, peau

Des risques visibles et méconnus…

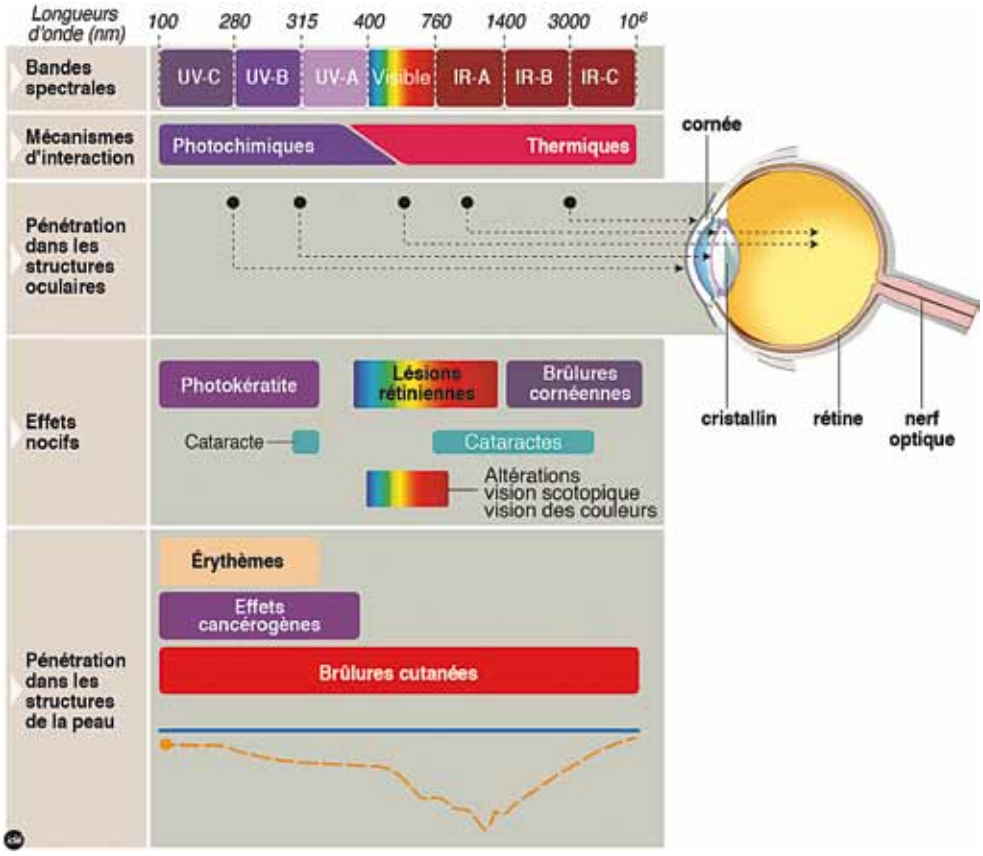
Une nouvelle réglementation destinée à mieux protéger les salariés contre les dangers liés aux rayonnements optiques artificiels est en vigueur depuis 2010. Car les ultraviolets, les infrarouges, la lumière bleue… peuvent être nocifs. Entre risques avérés et pistes de recherche, revue de détail des dangers pour la santé des salariés.

Omniprésents dans le monde du travail, qu'ils soient utilisés à des fins d'éclairage ou pour réaliser diverses tâches, les rayonnements optiques artificiels (lumière visible, rayonnements infrarouges et ultraviolets, lasers…) ne sont pas sans risque pour la santé des salariés, en particulier pour les yeux et la peau. Dans certaines conditions d'exposition (excessive ou prolongée), ils peuvent provoquer des maladies aiguës ou chroniques qui sont toujours directement liées à la pénétration et à l'absorption de ces rayonnements au niveau des différentes structures de l'œil ou de l'épiderme. En effet, l'interaction de la lumière avec la matière biologique conduit à la formation de radicaux libres (molécules d'oxygène instables) qui perturbent le fonctionnement des cellules et endommagent le matériel génétique. « *Selon la longueur d'onde absorbée par un tissu, les effets peuvent être multipliés par 100 ou 1 000* », explique le Dr Jean-Pierre Césarini, anatomo-pathologiste et photobiologiste, ancien chercheur à l'Inserm et consultant médical à la Fondation ophtalmologique A. de Rothschild [1].

La peau et les yeux en première ligne

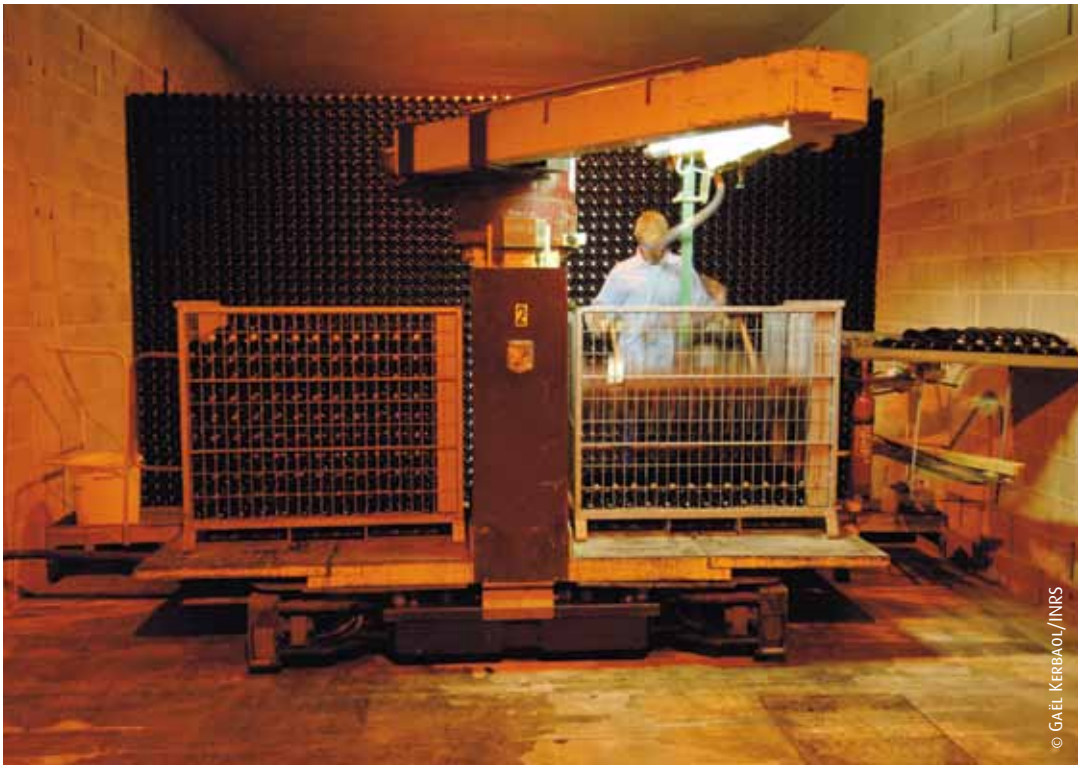
Les effets des rayonnements ultraviolets (UV) sur la peau sont bien connus. Ils peuvent être directs et immédiats : ce sont les traditionnels « coups de soleil » qui vont du simple

Les effets des ROA sur les yeux et la peau



érythème jusqu'à des brûlures plus graves, accompagnées de douleurs et d'œdèmes. Ces rayonnements UV peuvent également occasionner des lésions du matériel génétique, avec pour conséquence l'apparition à plus long terme de cellules cancéreuses (carcinomes ou mélanomes). Si les UVB sont reconnus comme un facteur essentiel dans la genèse de carcinomes, il est aujourd'hui démontré que les UVA, même s'ils sont moins actifs, jouent également un rôle non négligeable, voire augmenteraient les effets cancérogènes des UVB. De même, une exposition répétée à un rayonnement infrarouge, combinée aux ultraviolets, pourrait accélérer la formation de cancers cutanés. Dans le domaine visible, le rayonnement bleu émet une énergie proche de celle du rayonnement UV et peut induire un stress oxydatif, responsable de dommages indirects à l'ADN. Il est soupçonné d'être un facteur de risque important dans la survenue de certains cancers cutanés et dans le vieillissement de la peau.

Autre organe particulièrement sensible : l'œil. Selon la longueur d'onde de la lumière et l'intensité énergétique du rayonnement, les tissus oculaires atteints sont différents. L'exposition de courte durée aux rayonnements ultraviolets A et B induit des lésions mineures et réversibles (le « coup d'arc »), alors qu'une exposition prolongée peut provoquer des dommages permanents. « *Les UVB attaquent la cornée et peuvent provoquer des photokératoconjonctivites*, explique le professeur Césarini. *Les UVA atteignent le cristallin et peuvent à long terme provoquer une cataracte*. » Le rayonnement infrarouge peut également provoquer des lésions thermiques de la cornée et du cristallin (longueurs d'onde 1 400 nm à 1 mm). La lumière visible, qui agit sur les photorécepteurs de la rétine pour produire une image, peut provoquer trois types de lésions irréversibles de la rétine. Les dommages photomécaniques sont dus à une énergie forte délivrée pendant une période très courte (cas des lasers). Les lésions thermiques (élévation de la température des tissus de l'ordre de 10 à 20 °C) sont dues à une exposition à des longueurs d'onde entre 600 et 1 400 nm, pendant une microseconde à quelques secondes. Enfin, les lésions photochimiques, qui peuvent aller jusqu'à la destruction des cônes réceptifs au bleu, sont la conséquence d'expositions peu intenses mais répétées sur de longues durées à des rayonnements de courte longueur d'onde (domaine bleu du spectre visible). La gravité de ces lésions dépend de la dose cumulée de lumière bleue à laquelle la personne a été exposée.


© Gaël Kerbaol/INRS

Lorsque l'éclairage est réalisé à l'aide d'une lampe à sodium, comme ici dans une cave à vin, une distance de sécurité doit être observée.

Les LED en question

La diffusion croissante des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED) qui sont caractérisées par une grande proportion de bleu dans la lumière blanche émise et par leur très forte intensité lumineuse (luminance) est, à ce titre, préoccupante. L'intensité lumineuse de ces éclairages – 1 000 fois plus élevée que celle des éclairages traditionnels – peut provoquer des éblouissements. Selon le rapport de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) ([2]), la lumière fluctuante des LED pourrait, en situation de mouvement ou dans des espaces confinés avec des variations périodiques de contraste, être responsable d'effets stroboscopiques, avec des conséquences sur la santé (crises d'épilepsie chez les personnes à risque), sur la performance visuelle et sur la sécurité (chutes de plain-pied et de hauteur, accidents de la route...).

De plus, « *on augmente la proportion de rayonnement bleu afin de rendre la lumière plus "blanche"*, explique Jean-Pierre Césarini. *Or, l'énergie véhiculée par le bleu est beaucoup plus puissante que celle*

véhiculée par le rouge ou le vert et peut agresser l'œil. Si l'intensité est trop forte, les pigments qui absorbent le bleu sont "brûlés", comme c'est le cas lorsque l'on regarde le soleil. » Le rayonnement bleu pourrait également perturber la contraction pupillaire et modifier l'horloge biologique et les rythmes circadiens (événements biologiques qui ont lieu toutes les 24 heures et permettent de s'ajuster à l'environnement).

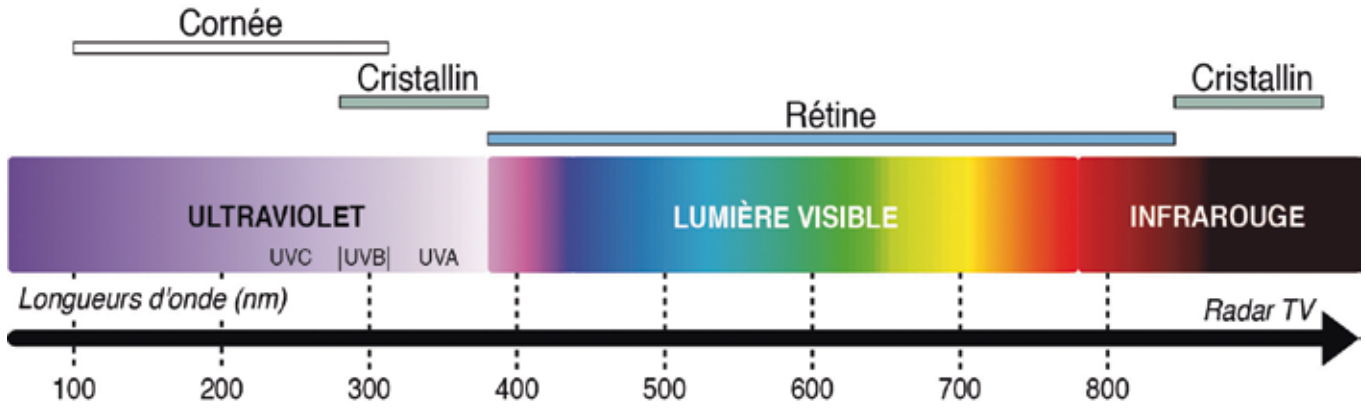
Chez l'homme, la lumière est le principal synchronisateur des rythmes biologiques avec l'environnement. Elle stimule certaines cellules ganglionnaires rétiniennes qui contrôlent l'intensité du flux lumineux entrant dans l'œil ainsi que les rythmes veille-sommeil. Lorsque ces cellules sont stimulées par une longueur d'onde de 480 nm, elles ne sécrètent plus de mélatonine – une hormone qui participe à la régulation de l'horloge biologique. Or, les éclairages à LED blanches présentent une très faible proportion de rayonnements à 480 nm. Ils pourraient donc être responsables d'un dérèglement de cette horloge. « *Cela va allonger les cycles circadiens à 26 heures ou 28 heures*, note Jean-Pierre Césarini, *ce qui peut provoquer des troubles de l'humeur, des troubles de l'attention avec risques d'accidents...* » Les travailleurs de nuit ou postés sont particulièrement visés car souvent contraints de rester en continu sous une lumière artificielle.

Salariés à risque

Des effets aggravants de la lumière bleue, par accumulation de lésions résultant de stress oxydant à faibles doses, sur le développement d'une dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) sont, par ailleurs, fortement soupçonnés. Enfin, certaines personnes particulièrement sensibles à la lumière bleue ont été identifiées : les enfants (leur cristallin étant transparent, il ne filtre pas les courtes longueurs d'onde, dont la lumière bleue) ainsi que les personnes atteintes de maladies oculaires (DMLA par exemple) et cutanées et les patients prenant des médicaments photosensibilisants. « *Mais ces personnes savent qu'elles sont photosensibles et ne vont pas postuler à un emploi à la lumière* », tempère Jean-Pierre Césarini.

En revanche, certaines catégories de salariés sont particulièrement exposées aux LED, comme les installateurs éclairagistes, les professionnels du spectacle... « *Les LED sont l'éclairage du futur, notamment dans le monde professionnel*, souligne Jean-Pierre Césarini, *et vont probablement améliorer les conditions de travail. Il ne faut pas les diaboliser mais mettre en garde contre les risques liés au déséquilibre lumineux et à l'intensité importante de ces rayonnements. De plus, on ne connaît pas les effets à long terme d'expositions répétées et cumulées à la lumière bleue. Il faut adapter la lumière au type de travail, modérer la puissance, filtrer quand il y a des risques d'éclairage directionnel. Ces éclairages représentent un vrai plus pour le développement durable mais il faut être vigilant pour les populations à risque.* »

Sensibilité des structures oculaires aux ROA



1. Il est également membre du Comité d'experts spécialisés « Agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements » de l'Anses et de la section Radiations non ionisantes de la Société française de radioprotection (SFRP).

2. Rapport d'expertise collective « Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED) » (Anses, octobre 2010), téléchargeable sur www.anses.fr

J. L.

Glossaire

• **Cataracte.** Opacification du cristallin ou de sa membrane qui entraîne une cécité partielle ou totale.

• **DMLA.** La dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) est une maladie dégénérative qui altère la macula, petite zone située au centre de la rétine responsable de la vision centrale (acuité visuelle). La vision centrale s'altère progressivement et apparaît une tache noire qui se projette sur l'objet regardé. La vison de près devient rapidement pénible, voire impossible.

• **Durée d'exposition journalière aux ROA.** Intervalle de temps entre le début et la fin d'une exposition à des rayonnements optiques lors d'une période de travail de 8 heures par jour.

• **Éblouissement**. Trouble de la vue provoqué par un contraste excessif entre la tâche visuelle et l'environnement. L'éblouissement diminue le confort visuel et conduit à une baisse des performances visuelles. La gêne ressentie peut être intense et prolongée dans le temps, même lorsque l'éblouissement a cessé.

• **Éclairement**. Désigne la quantité de lumière reçue par une surface. Il correspond au quotient du flux lumineux reçu par unité de surface. À l'éclairement lumineux en photométrie visuelle, correspond l'éclairement énergétique en radiométrie.

• **Exposition énergétique.** Quantité de rayonnement reçu par un salarié pour une durée d'exposition journalière donnée.

• **Laser.** Le mot laser vient de l'acronyme anglais « *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* », ce qui signifie « Amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement ». C'est un appareil capable de produire un faisceau étroit et concentré de particules de lumière (rayonnements lumineux de même longueur d'onde). Il convient de distinguer les lasers dits à basse énergie et les lasers à haute énergie lesquels correspondent à des applications industrielles, médicales ou de laboratoire très différentes.

• **LED**. Une diode électroluminescente, abrégée en DEL ou LED (de l'anglais *light-emitting diode*), est un composant électronique qui laisse passer un courant électrique dans un seul sens en émettant une lumière monochromatique. La technique la plus courante pour produire une lumière blanche, c'est de combiner une LED bleue et du phosphore jaune, lequel, sous l'excitation de la lumière bleue, produira une lumière jaune. Le mélange de ces deux couleurs donne une lumière blanche.

• **Longueur d'onde.** La longueur d'onde est la distance la plus courte séparant deux points strictement identiques du rayonnement. Elle se dénote communément par la lettre grecque λ (lambda) et s'exprime en nanomètres (nm).

• **Luminance (lumineuse ou énergétique)**. La luminance lumineuse est une grandeur de la photométrie visuelle qui traduit la sensation visuelle produite par une source de lumière. Elle exprime son niveau de luminosité (qui est une donnée sensorielle) sans tenir compte du débit de lumière (qui est une donnée physique). À la luminance lumineuse en photométrie visuelle, correspond la luminance énergétique en radiométrie.

• **Photométrie visuelle**. La photométrie visuelle traduit les effets visuels de la lumière. Ainsi au flux énergétique en watt de la radiométrie correspond le flux lumineux en lumen.

• **Radiométrie.** La radiométrie est la discipline qui étudie et mesure l'énergie transportée, par unité de temps, par des rayonnements optiques. Cette énergie se mesure comme un débit de rayonnement, appelé flux énergétique, il s'exprime en watts.

• **Rayonnement monochromatique.** Une source monochromatique est une source qui émet un rayonnement à une longueur d'onde précise. Une lumière monochromatique désigne une lumière d'une seule couleur.

• **Rayonnement optique.** Les rayonnements optiques comprennent les rayonnements de longueurs d'onde comprises entre 180 et 3000 nm (UV ; visible et infrarouge…). Le terme rayonnement désigne le processus d'émission et de propagation d'énergie transportée. Lors de sa propagation, il se reproduit identiquement à lui-même dans le temps et dans l'espace.

• **Spectre.** Le spectre énergétique d'un rayonnement optique représente son intensité en fonction de la longueur d'onde. L'obtention et l'étude des spectres relèvent de l'analyse spectrale (voir spectroradiométrie).

• **Spectroradiométrie.** Il s'agit de la discipline qui étudie et mesure, à l'aide d'un spectroradiomètre – la distribution du flux énergétique selon la longueur d'onde.

• **Valeur limite d'exposition professionnelle (aux ROA).** Niveau de rayonnement maximal que peut recevoir un salarié pendant une période donnée du temps travaillé. Elle est définie pour une période de 8 heures par journée de travail et pour des conditions dans lesquelles il est estimé que les salariés peuvent être exposés de manière répétitive sans effets nocifs pour leur santé.

Haute technologie

Retour d'expériences et risque laser

Les laboratoires du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) ont largement contribué à la diffusion des outils laser dans des domaines variés relevant des sciences, de l'industrie ou de la médecine. Depuis trois décennies, ses équipes jouent un rôle pionnier pour en maîtriser les risques. Fort de cette expérience, son groupe de travail « sécurité laser » vient d'élargir son champ d'action à la « sécurité du rayonnement optique ».

Le Barp, en Gironde. Sur le site du Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine (Cesta) du CEA, implanté en pleine forêt, le soleil matinal joue entre les cimes de la pinède. Les rayonnements étudiés par des chercheurs sont, eux, soigneusement confinés dans l'enceinte des laboratoires. Objectif du programme en cours : la mise au point des faisceaux laser de très grande intensité énergétique. Les premières études ont démarré en Ile-de-France. « *Nous venons de célébrer les trente ans d'existence du groupe "sécurité laser" créé au CEA Saclay, en 1981*, explique Frédéric Coquelet, ingénieur de sécurité et coordonnateur national à ce titre. *La nouvelle équipe, désormais intitulée "groupe de travail sécurité laser et autres rayonnements optiques", bénéficie donc d'un acquis important. Elle compte un représentant de chacun des dix sites du CEA.* » Le thème du groupe de travail figure parmi la dizaine de sujets suivis actuellement par le Groupe d'études de prévention (GEP) sur lequel s'appuie le CEA pour piloter des actions sur des thématiques prioritaires ou émergentes. Le rôle du GEP est d'informer les unités des dix établissements répartis sur le territoire national sur l'évolution des techniques et la réglementation. Il a également pour mission de coordonner les actions dans les domaines concernés. « *L'élargissement de notre champ de compétences répond aux évolutions réglementaires lancées par la directive européenne 2006/25/CE <qui englobe l'ensemble des sources artificielles de rayonnements optiques* », commente le coordonnateur.

Étude de poste

En construisant au Barp la ligne d'intégration laser (LIL) délivrant une énergie de 30 kilojoules dans l'ultraviolet pendant quelques nanosecondes, le CEA confirme sa vocation de pionnier. Cette ligne sert de banc d'essais pour préparer l'étape suivante, celle du laser mégajoule dont l'infrastructure

Sécurité en environnement laser et vision virtuelle

Actuellement, il n'existe pas de lunettes de protection laser uniques, couvrant toutes les longueurs d'onde et toutes les puissances. Partant de ce constat, un chercheur du CEA, Jean-François Demonchy, a conçu un dispositif de vision virtuelle à caméras miniatures adapté au travail en environnement laser mais aussi à d'autres environnements lumineux hostiles, notamment en soudage à l'arc ([1]). En assemblant des lunettes de vision virtuelle, des caméras miniaturisées et des connecteurs audio et vidéo, ce chercheur a mis au point un dispositif de vision permettant de travailler d'une façon sûre, sans devoir jongler entre plusieurs paires de lunettes de protection. Avec ce dispositif, les yeux ne voient plus directement la scène. Les images transmises par deux caméras CCD placées en partie supérieure du dispositif sont projetées sur un écran intégré aux lunettes. Autre avantage, la vision virtuelle laisse le faisceau laser apparent. Or les lunettes filtrantes le font « disparaître », en même temps qu'une bonne partie du spectre visible ce qui altère le rendu des couleurs. La dégradation de la qualité de la vision est une des causes de comportements à risques comme le retrait des lunettes lors d'une phase de réglage d'alignement du faisceau. Le CEA prévoit d'équiper les opérateurs en routine dans ses laboratoires laser de forte puissance. Le champ d'application du dispositif dépasse l'environnement laser : faisceaux lumineux de lumière blanche, soudage à l'arc, suivi d'opérations délicates grâce au déport d'images vers un centre de contrôle, affichage de procédures ou d'une scène virtuelle superposée à l'écran.

1. Environnement laser : la vision virtuelle garantit 100 % de sécurité, *CEA Techno(s)* n° 87, novembre 2007.

est déjà construite. Lorsqu'il sera opérationnel, en 2014, le nouvel équipement de recherche à vocation civile et militaire délivrera une énergie de 1,8 mégajoule pendant quelques nanosecondes. Il permettra de créer des milieux appelés « plasmas chauds » où la densité d'énergie sera extrêmement élevée. En attendant ce nouveau saut énergétique, la LIL poursuit son activité au rythme de un à deux tirs quotidiens pendant les campagnes d'essais.

Précédé d'une alarme sonore et lumineuse, le « hit de puissance » se déroule après évacuation totale du personnel. Le bâtiment qui lui est dédié abrite la chaîne laser de 125 m de long et son bâti de 3,5 m de haut. L'ensemble comprend une « chaîne » de quatre faisceaux, une chambre d'expérience abritant une cible et supportant des instruments d'analyse et de mesure ainsi que des ateliers de préparation en salle blanche. « *Sur cette installation, outre les risques classiques liés notamment à la hautre tension, l'accident oculaire est l'événement le plus grave auquel nous devons faire face* », note Frédéric Coquelet. La perte de la vision peut survenir par exposition directe au rayonnement ou par réflexion. Sur le millier de sources répertoriées dans ses dix centres, le CEA a déjà enregistré quelques accidents oculaires, allant dans certains cas jusqu'à la perte de vision d'un œil. « *Lors de la conception des nouvelles installations et des postes et situations de travail, notre priorité consiste à étudier les solutions de protection collective les plus appropriées* », poursuit l'ingénieur sécurité. La LIL est ainsi conçue de façon à éloigner le personnel des zones dangereuses lors des phases de tir. D'où la phase d'alerte préalable et le dispositif de contrôle d'accès par badge mis en place. Pour les phases de réglage et de maintenance, la ligne peut fonctionner à puissance réduite. Elle est équipée de lasers d'alignement de faible puissance, et le personnel porte alors des lunettes de protection adaptées à la nature du rayonnement, et notamment à sa longueur d'onde.

© Gaël Kerbaol/INRS

Pour répondre aux nouvelles obligations du Code du travail, le CEA bénéficie du retour d'expériences de plusieurs dizaines d'années d'emploi du laser dans ses différents laboratoires de recherche.

Du laser aux lampes

Le décret publié en 2010 englobe l'ensemble des sources artificielles de rayonnements optiques. « *Pour répondre aux nouvelles obligations du Code du travail, le CEA bénéficie du retour d'expériences de plusieurs dizaines d'années d'emploi du laser dans ses différents laboratoires de recherche* », souligne Frédéric Coquelet. Ainsi, la démarche d'évaluation des risques liés aux rayonnements optiques s'inspire de ce qui a déjà été fait au CEA : recensement et classement des sources et élaboration d'une liste des personnels exposés en tenant compte de l'exposition maximale permise [1].

Cette notion, définissant le niveau maximal auquel l'œil et la peau peuvent être exposés sans subir de dommage immédiat ou à long terme, est remplacée dans les nouveaux textes par celle de valeur limite d'exposition. En parallèle, ce groupe élabore des règles d'accessibilité prenant en compte les niveaux d'exposition des salariés en fonction des sources. Il en découle des moyens de protection à mettre en œuvre : protection collective ou individuelle, zonage, contrôle d'accès.

Le coordonnateur national du groupe tire les premiers enseignements des travaux en cours. « *Le recensement des sources a démarré en 2010. On peut estimer que le nombre de celles qui nécessitent un suivi va doubler*, annonce-t-il. *Nous préparons une mise à jour de notre système de gestion et de suivi du personnel susceptible d'être exposé.* » Ce système, basé sur une fiche d'exposition, permet un suivi des situations au sein des unités de travail en tenant compte des facteurs de risque : rayonnement ionisant, rayonnement optique, risque biologique, risque chimique.

Pour travailler sur des sources laser susceptibles de porter atteinte à la santé, le CEA a mis en place une formation aboutissant à une habilitation. « *Nous menons une réflexion pour faire évoluer les dispositifs de formation générales ou spécifiques qui s'imposent actuellement au personnel pour appréhender tous les rayonnements optiques artificiels*, commente Frédéric Coquelet en formulant un souhait. *Le CEA compte favoriser la mise en place d'un organisme prenant en charge le suivi et de la qualité de la formation "sécurité des rayonnements optiques"*. »

1. « Sécurité laser ». Mémento à l'usage du personnel de laboratoire. Groupe d'études de prévention du CEA, 2005.

J.-P. R.

Industries du spectacle

Sous les feux de la rampe

Rares sont les mises en scène sans jeux de lumière. Dans ce domaine, les organisateurs de spectacle jouent un rôle d'éclaireurs. Ils cherchent à tirer parti des derniers perfectionnements techniques des moyens d'éclairage. Avec l'augmentation de la puissance lumineuse, la vigilance est de mise.

Des lumières et des jeux. À Marseillan, dans l'Hérault, avant-dernière étape de la tournée estivale de la Française des Jeux. Bien qu'en plein air, son spectacle est placé sous les feux des rampes de projecteurs. En vedette nocturne : une chorégraphie d'acrobates modelée par des jeux d'ombre et de lumière. À l'instar des rendez-vous précédents, ce programme bénéficie du concours de la société Magnum de Gonesse (Val-d'Oise) pour les prestations lumineuses et sonores ainsi qu'en matière organisationnelle et de gestion de la sécurité.

« *Avec les évolutions techniques, le designer de lumière d'un spectacle bénéficie d'une gamme de choix qui va en s'étoffant* », explique Stanislas Surun, directeur associé de Magnum, en charge des questions de sécurité ([1]). La créativité des metteurs en scène doit souvent être confrontée au réel. Observateur privilégié de cette évolution, le responsable de Magnum en témoigne : « *On assiste à une course à la puissance liée à la mise sur le marché de sources dont les rendements lumineux sont de plus en plus forts*, décrit-il. *Et, préoccupation supplémentaire, leur emploi est à la portée d'entreprises qui ignorent trop souvent les risques pour les salariés mais aussi le public.* » Car un constat s'impose : les professionnels des arts du spectacle sont, plus fréquemment qu'avant, victimes de troubles oculaires, voire de coups de soleil au visage.

Les spectacles ne sont pas les seules activités concernées par cette course à la puissance lumineuse. Les organisateurs d'événements tels que les salons, ou même que les producteurs de télévision, y participent. Certains événements comme, par exemple, le Mondial de l'auto, ou les vitrines de concessionnaires, exigent un rendu lumineux flatteur mettant en valeur le produit et son environnement. Malgré le temps d'exposition limité à la durée de l'événement, les agents commerciaux et les hôtesses sont soumis à des niveaux d'intensité lumineuse élevés. À la suite d'atteintes oculaires (conjonctivite, troubles de la vision), ressentis par plusieurs artistes lors d'une représentation sur une grande scène nationale, la Cramif a récemment sollicité le concours de l'INRS afin de déterminer l'exposition des acteurs. « *À un spectacle donné correspond un plan lumière particulier* », souligne Stanislas Surun. Sont ainsi pris en compte les types et le nombre de projecteurs, leur position dans la salle, les types de filtres à gélatine utilisés (*cf. encadré*).

Pour les lampes réputées à risques, l'implantation dans l'espace et le respect des distances de sécurité sont d'au-

© Claude Almodovar pour l'INRS

Les évolutions réglementaires relatives aux sources de rayonnement optique sont encore peu connues dans les activités du spectacle. Ici, la troupe des Farfadais pour la Française des Jeux.

tant plus importants. Ainsi, certains projecteurs équipés de lampes à décharge et couramment mis en œuvre par les designers de lumière, produisent un faisceau concentrique pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres. D'où, pour en maîtriser les risques, l'importance, soulignée par Stanislas Surun, de la qualification technique du prestataire qui en assure la diffusion et du personnel en charge de la mise en œuvre. Car certains constructeurs d'équipements délivrent une information produit insuffisante.

Importance des notices des fabricants

Fiche technique à l'appui, le responsable de Magnum cite le cas d'un fabricant européen de projecteurs à très fort rendement lumineux susceptibles de déclencher un incendie à moins de huit mètres. Si la distance de sécurité d'environ 12 mètres n'est pas respectée, l'exposition au rayonnement émis peut provoquer des atteintes à la santé, troubles de la vision ou pathologies dermiques. « *Pourtant*, dit-il, *la seule mise en garde mentionnée dans la notice destinée aux utilisateurs mentionne le danger d'incendie*. » Sans compter que les mesures de prévention concernant ce projecteur, lorsqu'il est motorisé, sont d'autant plus difficiles à mettre en œuvre. Car le mouvement de la source rend difficile la mise en place d'un plan de sécurité définissant la zone de sécurité. En dépit de ces risques, les évolutions réglementaires relatives aux sources de rayonnement optique sont encore peu connues dans les activités du spectacle. « *L'expérience montre que l'analyse du risque devient vraiment opérationnelle lorsqu'on peut quantifier les niveaux d'exposition* », remarque le directeur de Magnum.

Autre frein: les risques liés à la lumière artificielle sont... peu visibles. D'où l'importance des notices des fabricants et du marquage éventuel des produits en tenant compte de classes de risques. Dans cette perspective et pour faire progresser la profession, la commission sécurité du CNPS (Conseil national des professionnels du spectacle), en collaboration avec la Cramif a organisé un tour de table avec les principaux fournisseurs de projecteurs. Les fabricants français étaient présents mais la plupart des équipements d'éclairage sont fabriqués à l'étranger. Il est donc difficile de les faire évoluer au niveau national.

Autre piste suivie par la profession : la carence en caractéristiques utiles à la prévention des risques professionnels. « *Nous comptons sur la plateforme de mesures mise en place par l'INRS pour constituer une base de données regroupant ces informations* », explique Stanislas Surun. L'étude, engagée par l'INRS et relayée par un groupe de travail bénéficiant du concours de la Cramif [2], doit alimenter la base de données sur les projecteurs et les filtres, afin d'adapter le logiciel CatRayon aux spécificités des activités du spectacle. Les mesures des caractéristiques spectrales et photométriques d'environ 90 projecteurs sur la centaine référencés par le groupe ont ainsi déjà été obtenues. « *Le travail débuté avec les professionnels du spectacle se prolonge actuellement par des échanges avec les fabricants de lampes qui mettent au point des sources anti-UV* », commente Serge Salsi, expert à l'INRS.

Lumière à gogo

L'exposition énergétique des artistes n'est pertinente que pour le spectacle concerné, elle ne peut en aucun cas être généralisée. En se basant sur les données communiquées pour un spectacle produit sur une scène à grande spectacle en France, et en partant des implantations matérielles, l'INRS a réalisé, à titre d'exemple, une simulation par calcul. Pour son éclairage, la scène de près de 100 m² disposait de plusieurs dizaines de projecteurs à réflecteur parabolique de 1000 W, de quelques projecteurs spot de 1000 W, de 2 projecteurs à réflecteur symétrique équipés de lampes halogènes de 1000 W et d'un projecteur de poursuite de 1200 W. Les artistes évoluant sur cette scène sont donc exposés à des rayonnements optiques intenses pendant la durée du spectacle.

Formation

Pour les salariés concernés par les équipements de travail à risque élevé, l'information peut être complétée par la mise en place d'un dispositif spécifique de formation, les métiers de la lumière devant tenir compte de l'accroissement des risques liés à cette course à la puissance lumineuse. « *Dans notre activité, les chefs d'entreprise et l'encadrement d'aujourd'hui sont les techniciens d'hier* », note Stanislas Surun. La plupart d'entre eux sont issus du terrain. Au-delà des connaissances techniques, le contenu des enseignements doit intégrer la dimension organisationnelle. L'encadrement et les techniciens qui préparent une scène en vue d'un spectacle ou d'un événement doivent apprendre à gérer les coactivités. « *À ce titre,* conclut Stanislas Surun, *je constate que le retour d'expériences recueilli au sein de la commission "sécurité du CNPS" présente un caractère très incitatif [2].* »

1. Stanislas Surun est également membre de la commission sécurité du Conseil national des professionnels du spectacle (CNPS) et de la commission de contrôle du Centre médical de la bourse des professionnels des « arts du spectacle ».

2. Comprenant des producteurs de spectacle, des fabricants de projecteurs et de lampes ainsi que le délégué à la sécurité du Comité central d'hygiène et de sécurité de la production de films.

J.-P. R.

Hotte de cuisine

Quand les UV s'attaquent aux graisses

En hôtellerie-restauration, l'évacuation d'air chargé en graisses nécessite des interventions de maintenance régulières, notamment pour limiter le risque d'incendie. D'où l'intérêt des procédés d'épuration des graisses faisant appel au rayonnement ultraviolet, dont les effets potentiellement nocifs doivent être mieux pris en compte.

La salle de restaurant interentreprise du quartier de La Défense, dans les Hauts-de-Seine, retrouve son calme après le « coup de feu de midi ». Cet après-midi, le sol carrelé de la cuisine a à peine le temps de sécher : les hommes en bleu de l'équipe de dégraissage de la société EPFD prennent le relais des toques blanches. « *Cette intervention en binôme des opérateurs de maintenance-dégraissage des hottes de ventilation a lieu plusieurs fois par an* », commente Mustapha Guettab, chargé du suivi des équipes d'Ile-de-France. Elle complète la visite hebdomadaire de l'opérateur qui remplace les filtres métalliques, souillés de graisse, par des filtres propres. Mise en service récemment, cette cuisine collective est équipée de deux hottes de ventilation novatrices. Le procédé mis en œuvre couple un dispositif d'aspiration à faible débit avec la destruction des graisses et des odeurs.

La réduction de la pénibilité

Le panache d'air chaud et de vapeur chargés en particules de graisses qui s'élève au-dessus des tables de cuisson est aspiré par une hotte ventilée. Le flux traverse les deux rangées de filtres en inox à effet cyclonique du plénum d'extraction avant d'être évacué par les gaines du réseau d'assainissement. Cette première épuration grossière des graisses est complétée par un second traitement par exposition aux ultraviolets émis par une série de lampes (*cf. encadré*).

Avec le traitement des graisses par UV, la réduction de la pénibilité du nettoyage des gaines de ventilation est appréciable.

« *Après filtration, le flux d'air chaud et les particules résiduelles aspirés par la hotte passent devant une batterie de lampes émettant des rayonnements ultraviolets C (UVC),* explique Benoît Maître, le responsable commercial du constructeur de l'équipement. *Le rayonnement UV neutralise les derniers résidus de graisses. En réduisant les dépôts graisseux dans les conduits d'évacuation, on peut limiter la fréquence des interventions de maintenance des gaines du réseau situées en aval.* » Et réduire le risque d'incendie. En outre, cette technique facilite la récupération de chaleur *via* un échangeur thermique. En Ile-de-France, trois sites de restauration collective clients d'EPFD se sont équipés récemment de ce système. « *La réduction de la pénibilité du nettoyage des gaines de ventilation est appréciable* », note Mustapha Guettab d'EPFD. Le personnel n'est cependant pas encore familiarisé avec le risque lié aux lampes UV.

« *Le CHSCT de cette entreprise nous a sollicités à la suite d'une exposition accidentelle* », témoigne Philippe Beslot, contrôleur de sécurité de la

© Vincent Grémillet pour l'INRS

Cramif, chargé d'une étude portant sur les interventions de maintenance dans ce secteur. L'opération consiste à rincer au jet d'eau sous pression les surfaces des différents équipements de la cuisine, et notamment de la hotte, après projection d'un produit détergent. Depuis l'intervention de la Cramif, les chargés de maintenance procèdent alors que le dispositif de ventilation, couplé à l'alimentation des lampes UV, est débrayé. Une horloge de programmation réglée sur les plages de travail en cuisine en commande la mise en route et l'arrêt. Le constructeur a également prévu que l'ouverture de la trappe d'accès aux lampes coupe le circuit d'alimentation électrique. Le mode opératoire de cette intervention de maintenance prévoit que l'installation de ventilation doit être arrêtée et les lampes éteintes.

Traitement efficace

« *Sans préjuger des conclusions de ce travail, nous avons pu constater que le caisson d'insolation n'était pas toujours étanche et qu'il laissait passer un rayonnement UV susceptible d'exposer le personnel de cuisine* », décrit le contrôleur de sécurité. Un problème pris en compte par le constructeur qui a modifié la configuration des éléments filtrants de façon à ce que les opérateurs les remettent en place sans qu'il y ait de possibilité de fuites. « *La simulation réalisée par l'INRS à l'aide de l'outil de calcul CatRayon à partir des données communiquées par la Caisse régionale pour évaluer l'exposition du personnel de cuisine confirme l'existence d'un risque oculaire, même si les opérateurs ne regardent pas directement la source* », déclare-t-il.

Les opérateurs de maintenance ne sont pas encore habitués à ces nouveaux équipements : « *La difficulté, pour nous, est liée au faible nombre de hottes de ventilation UV mises en service* », expliquent Charles Blanc et Sid Ahmed Charki, techniciens au service dégraissage d'EPFD. Excepté la batterie de lampes UV, ces équipements ont la même apparence que les hottes de ventilation classiques. En revanche, tous deux confirment l'intérêt et l'efficacité du traitement UV. EPFD a donc pris en compte cette nouvelle donne en modifiant la formation du personnel affecté au dégraissage. « *Lors de l'accueil au poste de travail et de la présentation des procédures de travail, le personnel concerné est désormais informé du risque lié aux UVC* », commente Mustapha Guettab.

© Vincent Grémillet pour l'INRS

Lors de la présentation des procédures de travail, le personnel concerné est informé du risque lié aux UVC.

1. Halton Foodservice.

J.-P. R.

Régime minceur pour les graisses

Les propriétés physiques des rayonnements ultraviolets sont mises à profit pour détruire les corps gras émis lors de la cuisson des aliments en présence d'huile ou de graisse. Entraînée avec la vapeur d'eau et la chaleur par l'installation de ventilation de la hotte, la majeure partie de ces graisses est d'abord arrêtée par une première barrière. La fraction résiduelle passe ensuite devant un caisson de lampes néon à vapeur de mercure basse pression émettant une lumière ultraviolette classée dans la catégorie C (longueur d'onde de 254 nm). L'énergie associée à ce rayonnement agit en deux temps sur les longues chaînes moléculaires formant les graisses. Par action directe, les UVC cassent ces chaînes pour en former de plus petites appelées radicaux. Ce composé fortement oxydant dégrade les derniers résidus qui sont transformés en eau, gaz carbonique et poudre blanche assimilable à de la cendre ; on parle d'ozonolyse. L'air rejeté dans les gaines de ventilation de la hotte de ventilation à l'issue de ce « régime minceur » subi dans les différents compartiments de la hotte de ventilation est désormais dépollué.