



HAL
open science

Evaluation des risques relatifs aux sources de rayonnement optique. CatRayon: catalogue informatisé interactif.

A. Barlier-Salsi, S. Salsi, S. Kingler

► **To cite this version:**

A. Barlier-Salsi, S. Salsi, S. Kingler. Evaluation des risques relatifs aux sources de rayonnement optique. CatRayon: catalogue informatisé interactif.. Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail, 2000, 180, pp.37-48. hal-01628291

HAL Id: hal-01628291

<https://hal.science/hal-01628291v1>

Submitted on 3 Nov 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

→ A. Barlier-Salsi, S. Salsi, S. Kingler,
Département Ingénierie
des équipements de travail, Centre
de l'INRS-Lorraine, Nancy

Evaluation des risques relatifs aux sources de rayonnement optique

CatRayon : catalogue informatisé interactif

ASSESSMENT OF THE RISKS RELATIVE TO SOURCES OF OPTICAL RADIATION

CATRAYON : INTERACTIVE COMPUTERISED CATALOGUE

CatRayon is an interactive computerised catalogue to assess the risks linked to the use of optical radiation sources. It comprises a data base of about 400 sources such as general-purpose lamps, lamps for specific use, and industrial sources (furnaces, welding arcs, etc.).

Risk assessment is based on the exposure limits proposed by ICNIRP and takes into account user-defined conditions of use including the position of the source, the exposure distance, and the daily period of exposure. For extended sources, the corresponding configuration factor is determined by means of a finite element method.

The results supplied are the spectral ranges presenting a risk, a description of the corresponding physiological effects, and the variation in the risk indexes in relation to the distance or duration of exposure.

• optical radiation • ultraviolet
• infrared • visible radiation • risk assessment • data bank • CatRayon
• lamp • electric arc • arc welding
• furnace • risk analysis

CatRayon est un catalogue informatisé interactif pour évaluer les risques associés à l'utilisation des sources de rayonnement optique. Il comprend une base de données d'environ 400 sources telles que des lampes à usage général, des lampes à usage spécifique et des sources industrielles (fours, arcs de soudage...).

L'évaluation des risques est basée sur les limites d'exposition proposées par l'ICNIRP et prend en compte les conditions d'utilisation définies par l'utilisateur, telles la position de la source, la distance d'exposition et la durée d'exposition journalière. Pour les sources étendues, le facteur de configuration correspondant est déterminé au moyen d'une méthode d'éléments finis. Les résultats fournis sont les domaines spectraux qui présentent un risque, la description des effets physiologiques correspondants et la variation des indices de risques en fonction de la distance ou de la durée d'exposition.

• CatRayon • rayonnement optique • ultraviolet • infrarouge • rayonnement visible
• évaluation des risques • banque de données • lampe • arc électrique • soudage à l'arc • four • analyse des risques

Si le soleil est pratiquement la seule source naturelle de rayonnement optique, les sources artificielles sont en revanche très nombreuses et se présentent sous des formes très diverses. Les plus connues et les plus utilisées dans notre environnement quotidien sont les sources lumineuses.

L'éclairage constitue en effet une des principales applications du rayonnement visible.

A côté de l'éclairage, il existe aussi des techniques qui utilisent des rayonnements ultraviolet, visible et infrarouge. Alors que les rayonnements ultraviolet et infrarouge ont longtemps été considérés comme l'accompagnement plutôt indésirable du rayonnement visible, on rencontre aujourd'hui un nombre croissant de sources à usage médical, industriel ou agricole dans lesquelles le rayonnement visible est secondaire.

Le rayonnement ultraviolet trouve par exemple de nombreuses applications dans l'industrie pour le séchage des encres, la

polymérisation des colles, le tirage de plan..., et dans le domaine médical pour la photothérapie et la désinfection bactérienne. La mise en œuvre de certaines techniques industrielles peut aussi être à l'origine d'émissions parasites de rayonnements ultraviolet, visible ou infrarouge. La fusion de l'acier ou du verre ou les procédés industriels comme le soudage à l'arc, provoquent l'émission de rayonnements optiques indésirables.

Si l'exposition de courte durée et à faible dose aux rayonnements optiques peut avoir des effets bénéfiques pour l'organisme, l'exposition prolongée et/ou à de fortes doses peut avoir des conséquences pathologiques aiguës ou chroniques liées à la pénétration et à l'absorption de ces rayonnements dans les structures de la peau et de l'œil. Les manifestations au niveau de la peau vont du simple érythème jusqu'à des lésions plus importantes.

A long terme, la répétition de lésions actiniques entraîne des modifications

pathologiques de la peau qui peuvent être à l'origine de lésions cancéreuses. Pour l'œil, les effets directs immédiats se traduisent par des lésions de la cornée, de la conjonctive, voire de la rétine.

A long terme, l'exposition chronique peut entraîner une opacification du cristallin (cataracte).

La littérature relative à ce domaine [1 à 5], ainsi que des études réalisées à l'INRS [6 à 11], mettent en évidence les risques présentés par un certain nombre de sources artificielles de rayonnement optique ou de techniques susceptibles d'émettre un rayonnement parasite. Ces études ont principalement pour objectifs de quantifier les risques à différents postes de travail et de proposer éventuellement des moyens de protection adaptés. Or, la quantification des risques est liée au niveau d'émission de la source, à sa configuration (distance et angle d'observation, durée d'exposition) et aux limites d'exposition utilisées.

Ainsi, pour une même source de rayonnement, les résultats observés à un poste de travail ne sont pas directement transposables à un autre poste de travail de configuration différente. De plus les limites d'exposition utilisées ne sont pas des données stabilisées.

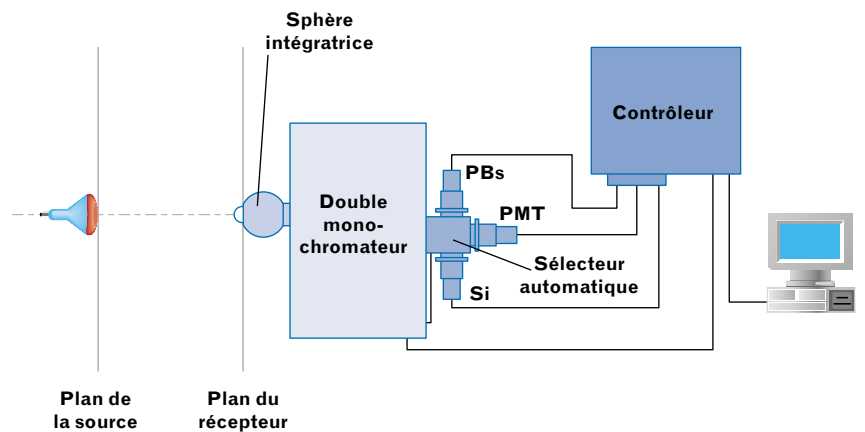
Néanmoins, ces études ont le mérite d'attirer l'attention des utilisateurs sur les risques liés à l'utilisation de certaines sources, mais du point de vue de la quantification du risque, elles ne sont que le reflet de la situation de travail étudiée à un moment donné.

Il est donc apparu nécessaire de mettre au point un outil capable d'élargir l'application des résultats restitués par une étude dans une configuration donnée, à d'autres situations de travail utilisant la même source de rayonnement optique. C'est l'objet de CatRayon [12] qui se propose :

- de regrouper, sous forme d'un catalogue informatisé, les caractéristiques générales et spectrales de sources artificielles de rayonnement optique ;
- d'évaluer, *dans les conditions d'utilisation définies par l'utilisateur*, les risques présentés par une source sélectionnée dans le catalogue.

Avant de présenter l'organisation et le fonctionnement de CatRayon, ce document décrit d'abord les différentes sources artificielles de rayonnement optique, contenues dans le catalogue, ainsi que les méthodes de mesures et de calcul utilisées pour évaluer les risques associés à l'utilisation de ces sources.

Fig. 1. Configuration de mesure en laboratoire. Appareillage - Laboratory measurement system. Apparatus



1. Sources de rayonnement optique décrites dans CatRayon

CatRayon regroupe les caractéristiques générales et spectrales d'environ 400 sources de rayonnement optique. Ces dernières sont décrites dans le [tableau 1](#).

2. Méthode d'évaluation des risques

L'évaluation des risques consiste à comparer, à des valeurs limites d'exposition, le rayonnement - dans différents domaines spectraux - reçu par une personne exposée à une source, dans une condition donnée. En terme de risque, les paramètres qui définissent les conditions d'exposition sont la configuration source-utilisateur et la durée d'exposition.

L'évaluation des risques nécessite donc trois étapes :

- la mesure du rayonnement émis par la source et reçu en un point dans une configuration de référence ;
- le calcul du rayonnement reçu en un point dans une configuration quelconque définie par l'utilisateur (autre que la configuration de référence) ;
- l'évaluation des risques proprement dite, c'est-à-dire la comparaison des valeurs calculées aux limites d'exposition correspondantes pour la durée d'exposition définie par l'utilisateur.

2.1. Grandeurs mesurées

Du point de vue du risque, le rayonnement émis par une source est défini par la luminance énergétique spectrique de cette dernière et par l'éclairement énergétique spectrique qu'elle produit au niveau des personnes exposées.

Ces deux paramètres ont donc été relevés respectivement dans les domaines spectraux 300 - 700 nm et 200 - 3 000 nm.

Appareillage

L'éclairement et la luminance énergétique spectrique sont mesurés à l'aide d'un spectroradiomètre Optronic® modèle OL 750 ([fig. 1](#)).

Cet appareil permet de relever des spectres entre 200 et 3 000 nm.

Il est composé :

- d'un double monochromateur à réseaux ; chaque monochromateur comprend en outre 3 réseaux, dont 2 ont une résolution 0,05 nm et un une résolution de 0,15 nm ;
- d'un détecteur Photomultiplicateur et d'un détecteur Silicium, tous deux utilisables dans l'ultraviolet et le visible et d'un détecteur au sulfure de plomb utilisable dans l'infrarouge ;
- de 2 sphères intégratrices pour relever l'éclairement énergétique spectrique : l'une est revêtue de poudre de PTFE pressée (polytétrafluoroéthylène), pour les mesures entre 200 et 2 500 nm, l'autre a un revêtement or pour les mesures entre 2 500 et 3 000 nm ;
- d'un télescope à ouverture variable (1,5 à 8,9 mm) pour les mesures de luminance énergétique spectrique ;
- d'un contrôleur relié à un PC pour le pilotage de l'ensemble et l'acquisition des mesures.

TABLEAU I

SOURCES DE RAYONNEMENT OPTIQUE DÉCRITES DANS CATRAYON - SOURCES OF OPTICAL RADIATION DESCRIBED IN CATRAYON

LAMPES	Lampes à usage général	Incandescence	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Lampes dichroïques ◆ Lampes halogènes ◆ Lampes halogènes à miroir réflecteur ◆ Lampes à incandescence ◆ Lampes à incandescence à réflecteur
		Fluorescence	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Lampes fluorescentes compactes ◆ Tubes fluorescents blancs ◆ Tubes fluorescents colorés
		Décharge	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Lampes aux halogénures métalliques ◆ Lampes à vapeur de mercure haute pression ◆ Lampes à vapeur de sodium haute pression
		Induction	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Lampes à induction
	Lampes à usage spécifique	Ultraviolet	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Brûleurs à vapeur de mercure haute pression ◆ Lampes actiniques ◆ Lampes de lumière noire ◆ Lampes germicides ◆ Lampes pour cosmétiques et traitements médicaux ◆ Lampes pour arts graphiques ◆ Lampes supra-actiniques
		Infrarouge	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Brûleurs infrarouges halogènes ◆ Emetteurs infrarouges
		Mixte	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Lampes pour cosmétiques et traitements médicaux
SOURCES INDUSTRIELLES	Fours	Secteur d'activité	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aciéries ◆ Forges ◆ Verreries
	Arc de soudage	Electrodes	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aciers faiblement alliés ◆ Aciers fortement alliés ◆ Aciers non-alliés ◆ Alliages cuivreux ◆ Fontes
		Fils pleins	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aciers faiblement alliés ◆ Aciers fortement alliés ◆ Aciers non-alliés ◆ Alliages cuivreux ◆ Alliages d'aluminium
		Fils fourrés	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aciers fortement alliés ◆ Aciers non-alliés
Autres sources industrielles	Secteur d'activité	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Verreries 	

Le spectroradiomètre est calibré à l'aide de 3 sources étalons :

- une lampe au deutérium de 40 W pour l'étalonnage en éclairement énergétique spectrique entre 200 et 300 nm ;
- une lampe tungstène halogène de 200 W pour l'étalonnage en éclairement énergétique spectrique entre 300 et 3 000 nm ;
- une sphère intégratrice pour l'étalonnage en luminance énergétique spectrique.

Ces lampes sont elles-mêmes étalonnées par rapport aux références du NIST (National Institute of Standards and Technology).

Méthode de mesure

La méthode de mesure varie selon que les mesures sont réalisées en entreprise (sources industrielles) ou en laboratoire (lampes).

En effet, en entreprise, la configuration de mesure dépend de l'encombrement dans l'environnement immédiat de la source. Les mesures sont donc effectuées soit au niveau des personnes exposées dans les conditions normales de travail, soit dans une configuration qui permet une visée optimale de la source. Dans ce dernier cas, l'éclairement énergétique spectrique dans la configuration voulue, est déterminé à l'aide de la méthode décrite au § 1.2.

En laboratoire, la source est orientée dans une direction correspondant à la direction normale d'utilisation. Le plan de la source est parallèle au plan du récepteur ; l'axe de mesure passe par le centre de la source (cf. fig. 1).

2.2. Grandeur calculée : détermination de l'éclairement énergétique spectrique en fonction de la configuration

CatRayon permet de connaître les risques présentés par une source de rayonnement dans différentes conditions d'utilisations. Pour ce faire, il est nécessaire de déterminer l'éclairement énergétique spectrique E_λ pour différentes configurations sources-observateur, à partir de l'éclairement énergétique spectrique mesuré. La configuration de mesure est donc prise comme configuration de référence et toutes les grandeurs (E, E_λ, \dots) déterminées dans cette configuration sont considérées comme des grandeurs de référence ($E_{ref}, E_{ref_\lambda}, \dots$).

Dans cette première version de CatRayon, il est fait l'hypothèse simplificatrice que l'intensité énergétique des sources ponctuelles est la même dans toutes les directions et que les sources

étendues rayonnent suivant la loi de Lambert [13] et sont de luminance uniforme. La prise en compte de la répartition spatiale de l'intensité énergétique fera l'objet d'un développement futur du catalogue de sources.

Cas des sources ponctuelles

Si I_θ est l'intensité énergétique de la source dans la direction considérée et en utilisant les notations de la figure 2, l'éclairement énergétique E au point P' situé à une distance D de la source a pour expression :

$$E = \frac{I_\theta}{D^2}$$

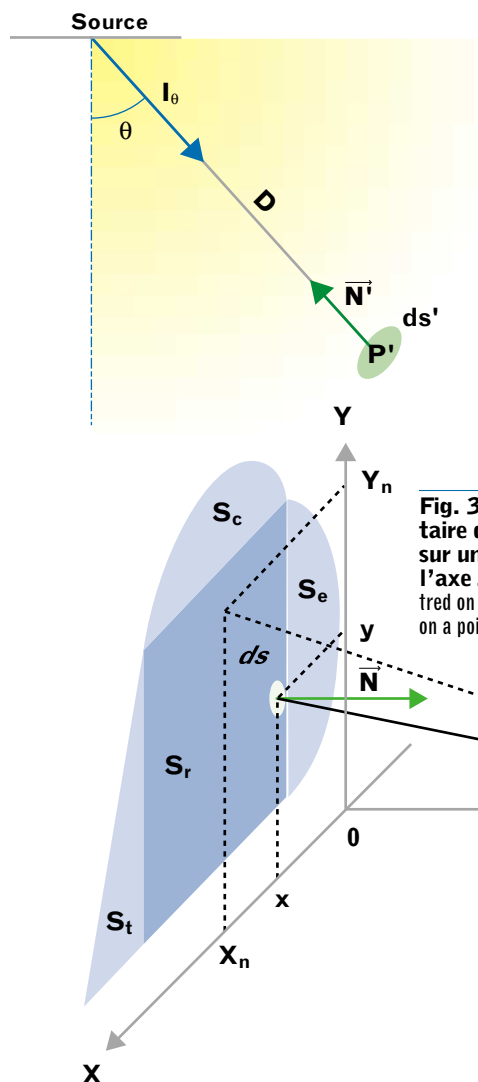
De même, E_{ref} peut s'écrire :

$$E_{ref} = \frac{I_{\theta_{ref}}}{D_{ref}^2}$$

En faisant l'hypothèse que $I_\theta = I_{\theta_{ref}}$, E et E_λ peuvent donc être calculés comme suit :

$$E = E_{ref} \frac{D_{ref}^2}{D^2} \tag{1}$$

$$E_\lambda = E_{ref_\lambda} \frac{D_{ref}^2}{D^2} \tag{2}$$



Cas des sources étendues

Si la source rayonne suivant la loi de Lambert et que sa luminance énergétique L est uniforme, alors :

$$E_{ref} = L.C_{ref} \text{ et } E = L.C$$

C_{ref} et C correspondent respectivement aux facteurs de configuration de la source dans la configuration de référence et dans la configuration considérée.

Ainsi, E et E_λ peuvent être exprimés sous la forme :

$$E = E_{ref} \frac{C_{ref}}{C} \tag{3}$$

$$E_\lambda = E_{ref_\lambda} \frac{C_{ref}}{C} \tag{4}$$

La méthode de calcul du facteur de configuration a fait l'objet d'une étude publiée par l'INRS [14]. Cette méthode consiste à décomposer la source de forme complexe S en une série de surfaces de géométrie simple S_i , soit N_r surfaces rectangulaires S_r , N_t surfaces triangulaires S_t , N_c surface circulaires S_c (ou secteurs de cette surface) et N_e surfaces elliptiques S_e (ou secteurs de cette surface). Les surfaces S_i ainsi que la surface réceptrice ds' sont définies dans un repère orthonormé XYZ (cf. fig. 3).

Fig. 2. Eclairement produit par une source ponctuelle et reçu sur une surface ds' centrée sur le point P' - Irradiance produced by a point source and received on a surface ds' centred on point P'

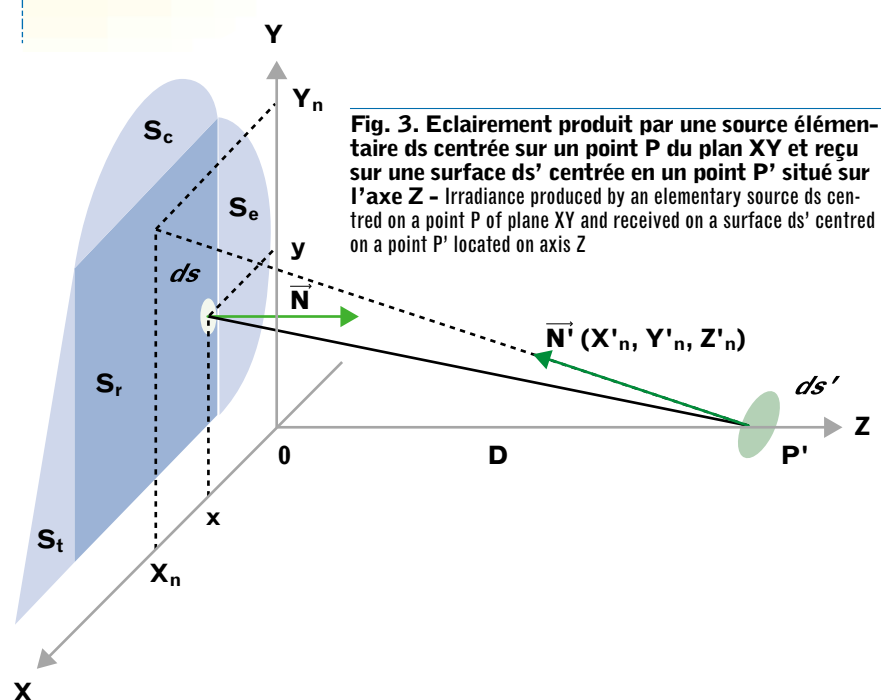


Fig. 3. Eclairement produit par une source élémentaire ds centrée sur un point P du plan XY et reçu sur une surface ds' centrée en un point P' situé sur l'axe Z - Irradiance produced by an elementary source ds centred on a point P of plane XY and received on a surface ds' centred on a point P' located on axis Z

Chaque surface de géométrie simple est en outre affectée d'un signe (*signe_r*, *signe_t*, *signe_c*, *signe_e*) positif ou négatif selon qu'il s'agit d'une surface à ajouter ou à retrancher. A titre d'exemple, une source ayant la forme d'une couronne circulaire, sera composée d'une surface circulaire *S1* de rayon *R1*, affectée d'un signe positif et d'une surface circulaire *S2* de rayon *R2* inférieur à *R1*, affectée d'un signe négatif.

Les surfaces de géométrie simple *S_i* sont ensuite traitées séparément, afin de déterminer leurs facteurs de configuration respectifs *C_i* (*C_r*; *C_t*; *C_c*; *C_e*). Ces derniers sont estimés au moyen d'une méthode d'éléments finis qui consiste à « discrétiser » les surfaces étudiées en surfaces élémentaires *ds* de dimensions finies et à considérer chaque surface élémentaire *ds* comme une source ponctuelle. Si *C_{el}* est le facteur de configuration élémentaire de chaque surface élémentaire *ds*, le facteur de configuration *C_i* d'une surface de géométrie simple *S_i* est égal à :

$$C_i = \int_s C_{el}(ds) \text{ avec}$$

$$C_{el} = da.D. \frac{(X'_n \cdot X + Y'_n \cdot Y - Z'_n \cdot D)}{(X^2 + Y^2 + D^2)^{3/2}} \quad (5)$$

Les notations sont celles de la figure 3 et *da* est l'aire de la surface élémentaire *ds*.

Le facteur de configuration *C* d'une source de géométrie complexe *S* a donc pour expression :

$$C = \sum_{i=1}^{i=N_r} \text{signe}_{r_i} \cdot C_{r_i} + \sum_{j=1}^{j=N_t} \text{signe}_{t_j} \cdot C_{t_j} +$$

$$\sum_{k=1}^{k=N_c} \text{signe}_{c_k} \cdot C_{c_k} + \sum_{l=1}^{l=N_e} \text{signe}_{e_l} \cdot C_{e_l} \quad (6)$$

2.3. Evaluation des risques

La nature et le siège des lésions sont essentiellement liés à la longueur d'onde du rayonnement. Le rayonnement ultraviolet peut être à l'origine d'affections oculaires (conjonctivites, kératites, cataractes...) et cutanées (érythèmes). Le rayonnement visible est susceptible de produire des lésions rétinienne. Enfin, l'exposition chronique au rayonnement infrarouge peut entraîner une opacification du cristallin, appelée « cataracte ».

L'évaluation des risques associés au rayonnement optique conduit donc à déterminer les différentes grandeurs énergétiques dans les domaines spectraux concernés. La méthode de calcul de ces grandeurs est décrite en détail dans le *tableau II*.

TABLEAU II

MÉTHODE DE CALCUL DES NIVEAUX D'EXPOSITION, D'ÉCLAIREMENT OU DE LUMINANCE ÉNERGÉTIQUE ET LIMITES D'EXPOSITION EL CORRESPONDANTES [15 À 17] -

METHOD OF CALCULATING EXPOSURE LEVEL, SPECTRAL IRRADIANCE OR RADIANCE PER UNIT AREA, AND CORRESPONDING EXPOSURE LIMIT EL [15 TO 17]

Effets du rayonnement	Grandeurs énergétiques calculées	Limites d'exposition (EL)
Peau : Erythème, effets cancérogènes	$H_{UV} = \sum_{200}^{400} E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \cdot t$	30 J.m ⁻²
Yeux : Kératites, conjonctivites	$H_{UV} = \sum_{200}^{400} E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \cdot t$	30 J.m ⁻²
Yeux : Cataractes	$H_{UVA} = \sum_{315}^{400} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \cdot t$	10 ⁴ J.m ⁻²
Yeux : Lésions rétinienne par effet photochimique	Sources étendues : $\alpha \geq 11$ mrad $L_{VIS,t} = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} \cdot B_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \cdot t$ pour $t \leq 10^4$ s $L_{VIS} = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} \cdot B_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$ pour $t > 10^4$ s	10 ⁶ J.m ⁻² .sr ⁻¹ 10 ² W.m ⁻² .sr ⁻¹
Yeux : Lésions rétinienne par effet thermique (visible + IR)	Sources ponctuelles : $\alpha \leq 11$ mrad $H_{VIS} = \sum_{300}^{700} E_{\lambda} \cdot B_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \cdot t$ pour $t \leq 10^4$ s $E_{VIS} = \sum_{300}^{700} E_{\lambda} \cdot B_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$ pour $t > 10^4$ s	10 ² J.m ⁻² 10 ⁻² W.m ⁻²
Yeux : Lésions rétinienne par effet thermique (visible + IR)	$L_{VISIRA} = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} \cdot R_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	$\frac{5 \cdot 10^4}{\alpha \cdot t^{1/4}} \quad (1)$
Yeux : Lésions rétinienne par effet thermique (IR)	$L_{IRA} = \sum_{780}^{1400} L_{\lambda} \cdot R_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	$\frac{6 \cdot 10^3}{\alpha} \quad (2)$
Yeux : Lésions de la cornée, cataractes	$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	1,8.10 ⁴ .t ^{-3/4} W.m ⁻² pour $t < 10^3$ s 10 ² W.m ⁻² pour $t \geq 10^3$ s

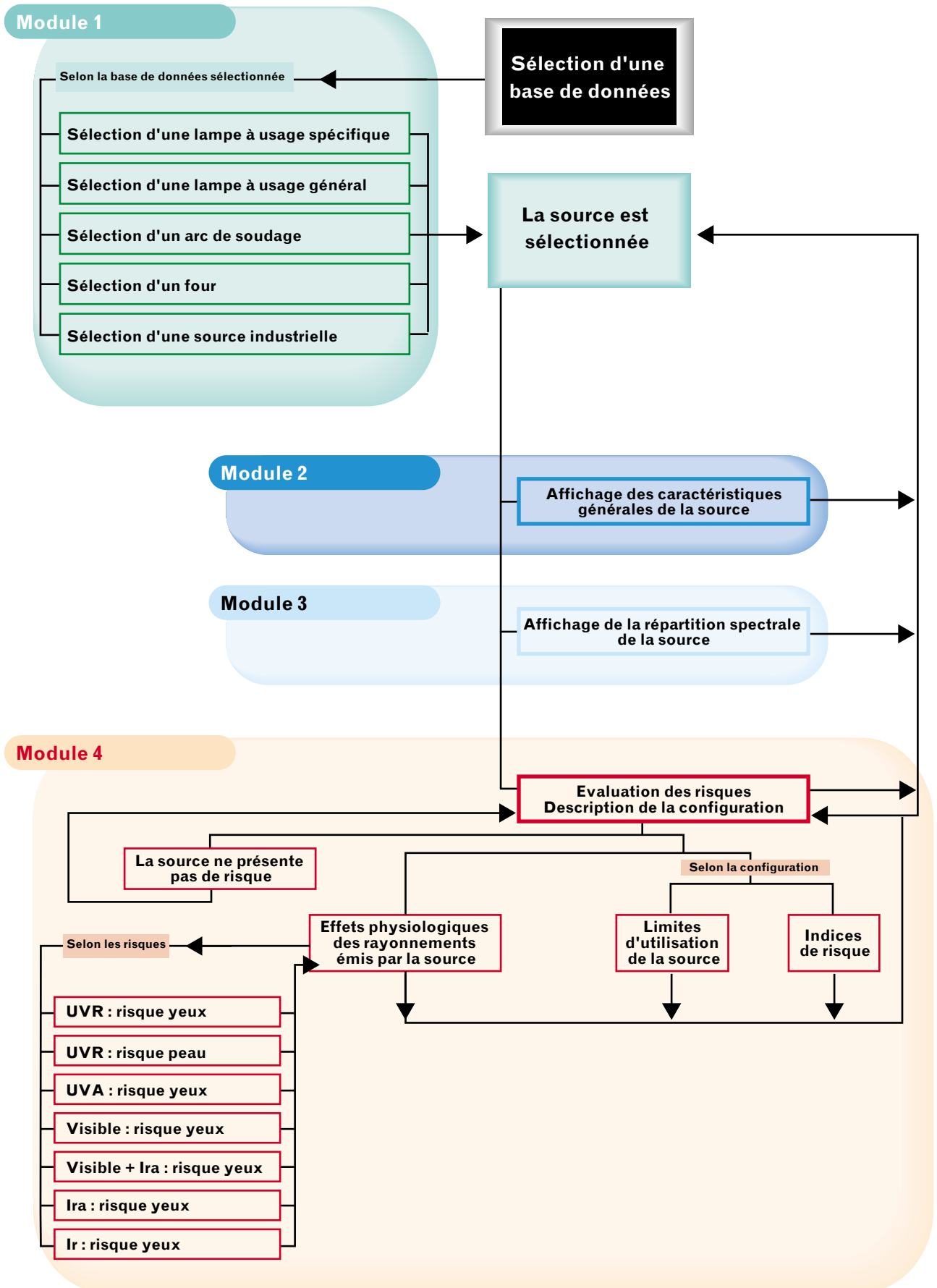
(1) Pour $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10$ s et $1,7 \text{ mrd} \leq \alpha \leq 0,1 \text{ rd}$.

Si $t < 10 \mu\text{s}$ ou $t > 10$ s, EL est calculée en prenant respectivement $t = 10 \mu\text{s}$ ou $t = 10$ s.

Si $\alpha < 1,7 \text{ mrd}$ ou $\alpha > 0,1 \text{ rd}$, EL est calculée en prenant respectivement $\alpha = 1,7 \text{ mrd}$ ou $\alpha = 0,1 \text{ rd}$.

(2) Pour les sources émettant dans l'infrarouge et en l'absence de fort stimulus visuel (luminance lumineuse de la source inférieure à 10 cd.m^{-2}), pour des durées d'exposition journalières supérieures à 10s et $11 \text{ mrd} \leq \alpha \leq 0,1 \text{ rd}$.
Si $\alpha < 1,7 \text{ mrd}$ ou $\alpha > 0,1 \text{ rd}$, EL est calculée en prenant respectivement $\alpha = 11 \mu\text{mrd}$ ou $\alpha = 0,1 \text{ rd}$

Fig. 4. Organigramme de CatRayon - Flow chart of CatRayon



Selon le domaine spectral considéré, il s'agit :

- d'exposition énergétique (H_{UV} , H_{UVA} , L_{VIS-t} , H_{VIS}),
- d'éclairement énergétique (E_{VIS} , E_{IRA}),
- de luminance énergétique (L_{VIS} , L_{VISIRA} , L_{IRA}).

Pour évaluer les risques, les grandeurs calculées dans les différents domaines spectraux sont comparées aux limites d'exposition EL proposées par l'ICNIRP [15 à 17]. Ces limites d'exposition sont détaillées dans le tableau II. Elles sont toujours données pour une journée de travail de 8 heures. Ainsi, t correspond à la durée d'exposition journalière.

Afin de quantifier les risques présentés par une source, un indice de risque I_x a été défini. Selon le domaine spectral concerné, I_x a pour expression :

$$I_x = \frac{H_x}{EL_x} \quad (7)$$

$$\text{ou } I_x = \frac{E_x}{EL_x} \quad (8)$$

$$\text{ou } I_x = \frac{L_x}{EL_x} \quad (9)$$

(¹) Dans CatRayon, la gestion des bases de données et la génération des écrans ont été réalisés à l'aide de l'outil de développement Windev. Les calculs d'expositions et l'évaluation des risques ont été développés en langage Pascal.

Ainsi, un indice de risque supérieur à 1 signifie que la source étudiée présente un risque dans le domaine spectral considéré.

3. Conception de CatRayon

3.1. Principe

Dans CatRayon, les 400 sources décrites dans le tableau I sont réparties dans cinq bases de données :

- deux bases sont consacrées aux lampes : l'une aux lampes à usages spécifiques et l'autre aux lampes à usage général ;
- trois bases concernent les sources industrielles : les arcs de soudage, les fours utilisés dans divers secteurs d'activité et des sources industrielles diverses.

CatRayon permet à l'utilisateur de :

- sélectionner une source dans l'une des cinq bases de données à l'aide d'un certain nombre de critères,
- être informé sur les caractéristiques générales et spectrales de la source sélectionnée,
- décrire les conditions d'utilisation de la source,
- connaître les risques présentés par la source dans les conditions définies ci-avant.

3.2. Organisation - Fonctionnement

L'organisation et le fonctionnement (1) de CatRayon en 4 modules est représenté figure 4.

Module 1 - Sélection de la source

Deux possibilités se présentent à l'utilisateur pour sélectionner une source dans une base de données. La première consiste à afficher l'ensemble des sources de la base et à sélectionner l'une d'entre elles. La seconde consiste à présélectionner des sources, c'est-à-dire n'afficher que les sources qui répondent à certains critères et à sélectionner ensuite l'une d'entre elles (cf. fig. 11, relative à l'exemple traité au § 4).

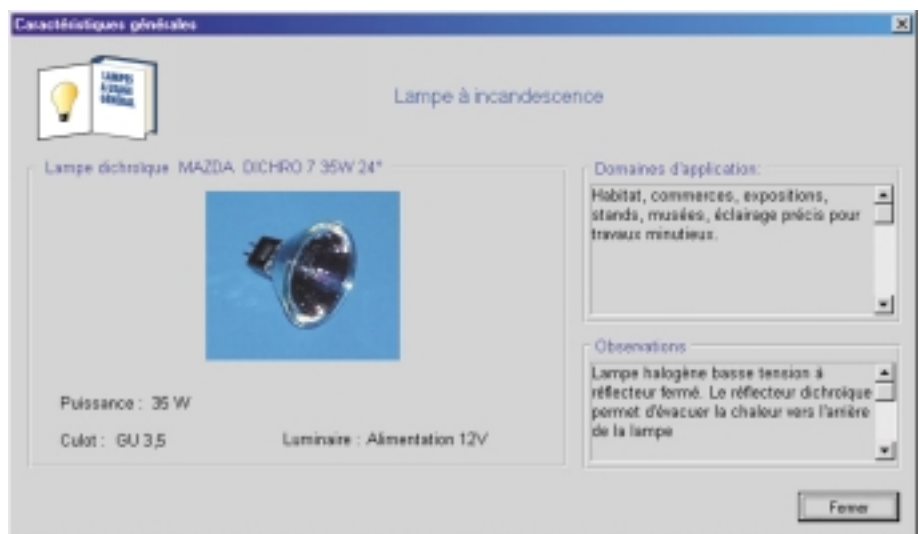
Module 2 - Affichage des caractéristiques générales de la source

Sous le terme de « caractéristiques générales de la source » sont regroupées les informations techniques. Il s'agit de :

- la puissance, le type de culot, le type de luminaire, pour les lampes ;
- les dimensions et la température de fonctionnement pour les fours ;
- l'intensité et la tension de soudage pour les arcs de soudage ;

Ce module comprend également une description sommaire des domaines d'utilisation de la source et une représentation graphique de cette dernière (fig. 5).

Fig. 5. Affichage des caractéristiques générales de la source -
Display of the general characteristics of the source



Module 3 - Affichage des caractéristiques spectrales de la source

La répartition spectrale de la source sélectionnée est donnée en valeur relative, exprimées en % par rapport à la valeur maximale enregistrée entre 200 et 3 000 nm (fig. 6).

Un sélecteur situé dans le cadre intitulé visualiser permet de représenter les caractéristiques spectrales de la source dans les divers domaines spectraux :

- ensemble du spectre (200 - 3 000 nm),
- ultraviolet (200 - 400 nm),
- visible (400 - 700 nm),
- infrarouge (700 - 3 000 nm).

Module 4 - Evaluation des risques

L'utilisateur ne dispose pas toujours d'éléments précis pour décrire la configuration de la source ; c'est pourquoi CatRayon permet d'analyser les risques, soit dans des configurations dites générales :

- en fonction de la distance d'exposition pour une durée d'exposition journalière fixée,
- en fonction de la durée d'exposition journalière pour une distance d'exposition fixée,
- soit dans une configuration particulière définie par un couple durée d'exposition journalière/distance d'exposition (fig. 7).

Les résultats de l'analyse des risques sont présentés sous forme de 2 volets.

■ Le premier volet renseigne l'utilisateur sur les aspects qualitatifs du risque. Il donne les domaines spectraux à l'origine du risque, ainsi que les effets physiologiques associés (fig. 8), sous forme de boutons à cliquer. L'activation de l'un de ces boutons provoque l'affichage d'une fenêtre explicative (fig. 9).

■ Le second volet concerne les aspects quantitatifs du risque, c'est-à-dire la valeur des indices de risque (définis par les relations 7, 8 et 9) correspondant à chaque domaine spectral. Dans l'analyse des risques dans des configurations dites générales, les résultats présentent, pour chaque domaine spectral, la variation des indices de risques en fonction de la distance d'exposition ou de la durée d'exposition journalière. Afin de visualiser rapidement les limites d'utilisation de la source, les indices de risque supérieurs à 1 sont représentés en rouge et ceux inférieurs à 1 sont représentés en vert (cf. fig. 12, relative à l'exemple traité au § 4).

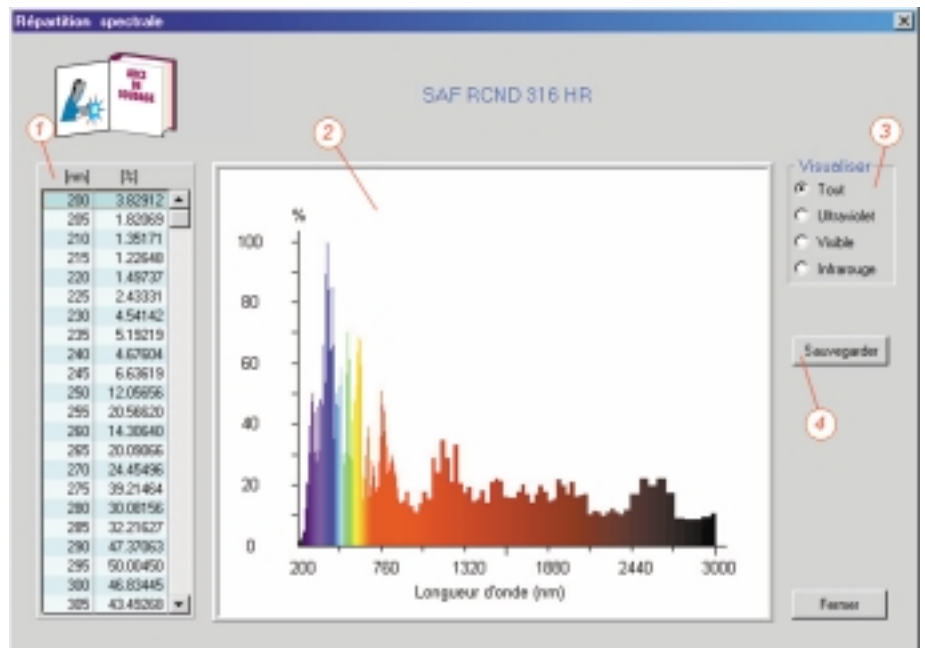
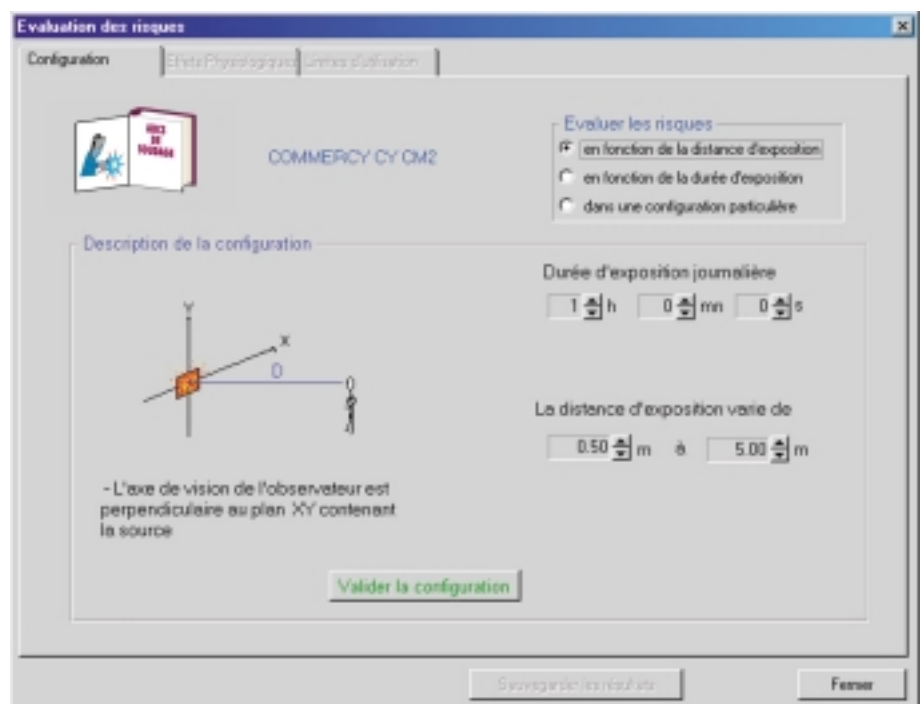


Fig. 6. Affichage des caractéristiques spectrales de la source - Display of the spectral characteristics of the source

- 1 Tableau de valeur
- 2 Graphique
- 3 Sélecteur : choix du domaine spectral
- 4 Sauvegarde

Fig. 7. Saisie de la configuration pour l'analyse des risques - Entering the configuration for risk analysis



Dans l'analyse des risques dans une configuration particulière, les valeurs des indices de risque supérieurs à 1 sont affichés dans la fenêtre de résultats.

4. Exemple d'utilisation de CatRayon

L'intérêt du présent catalogue de sources est de permettre d'évaluer les risques présentés par une source de rayonnement optique dans différentes configurations. L'exemple suivant illustre les possibilités offertes par CatRayon ; on se propose d'évaluer les niveaux d'exposition de personnes travaillant dans l'environnement d'un four à pot d'une verrerie à main. La source traitée est un four à pot de 480 x 275 mm. Les personnes exposées sont le cueilleur, chargé de prélever le verre dans le four, ainsi que les verriers dont les postes de travail sont disposés dans l'environnement proche du four. La durée d'exposition journalière est d'environ 6 heures.

L'implantation des différents postes de travail est présentée *figure 10*.

Fig. 9. Description détaillée des effets physiologiques associés à un domaine spectral - Detailed description of the physiological effects associated with a given spectral range

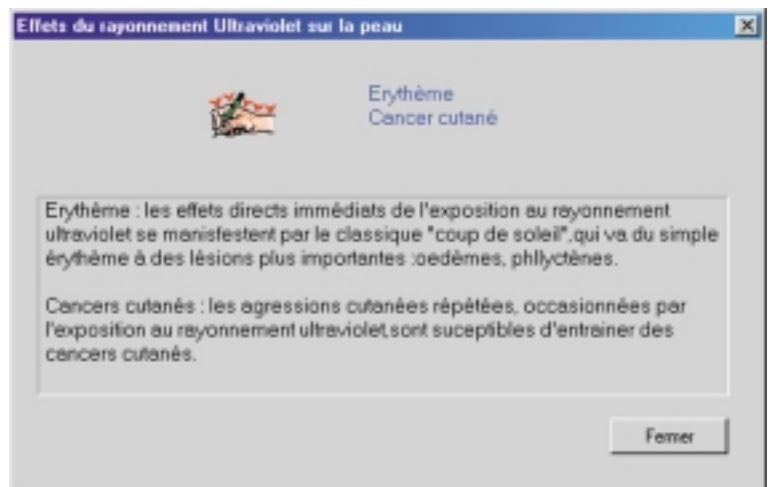


Fig. 10. Implantation des postes de travail - Arrangement of the work stations

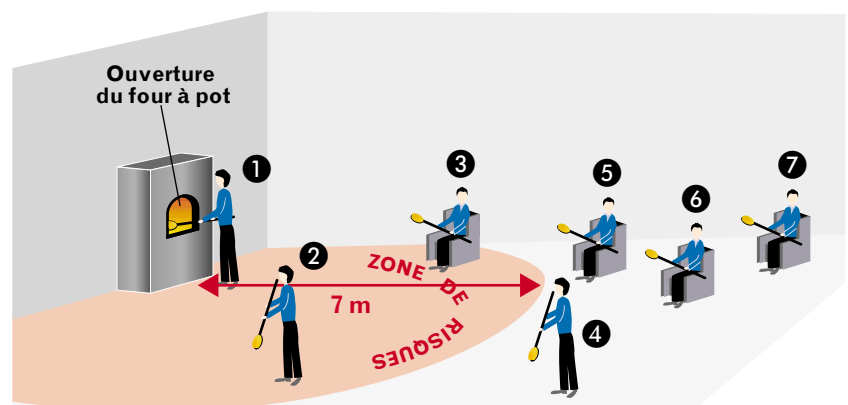
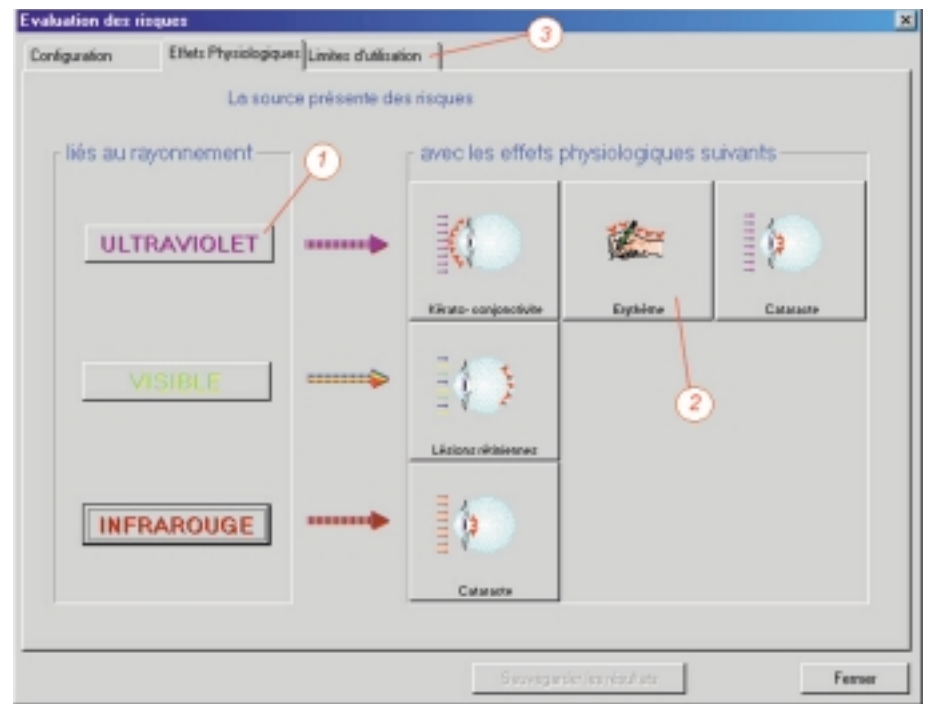


Fig. 8. Affichage des domaines spectraux à l'origine des risques ainsi que des effets physiologiques associés - Display of the spectral ranges at the origin of risks and the associated physiological effects



1 2 - L'activation de l'un de ces boutons provoque l'affichage d'une fenêtre explicative

3.1. Sélection de la source

La première étape de la démarche consiste à sélectionner la source dans le catalogue des fours (fig. 11).

3.2. Caractéristiques de la source

Dans un second temps, il est nécessaire de consulter les caractéristiques générales et spectrales de la source sélectionnée, afin de s'assurer que ses caractéristiques correspondent à celles du four étudié. La fenêtre « Caractéristiques générales » spécifie la forme et les dimensions du four, ainsi que sa température de fonctionnement.

La fenêtre « Caractéristiques spectrales » affiche la répartition spectrale relative du four dans un domaine spectral particulier ou sur la totalité du spectre de rayonnement optique.

3.3. Evaluation des risques

Dans cet exemple, la durée d'exposition journalière et les configurations des postes de travail sont bien définies. A priori, pour les sept postes de travail, une analyse des risques dans une configuration particulière devrait s'imposer. Cependant, une analyse préliminaire en fonction de la distance d'exposition permet de définir une « zone de risque », qui constitue une frontière entre les postes de travail qui présentent ou non un danger. Cette analyse préliminaire a l'avantage de limiter le nombre de postes de travail à étudier.

Analyse des risques en fonction de la distance d'exposition

Les risques ont donc été évalués en fixant les paramètres suivants :

- durée d'exposition journalière = 6 h,
- $0,90 \text{ m} < \text{distance d'exposition} < 10 \text{ m}$.

Les résultats des analyses correspondant à ces paramètres sont présentés sur la figure 12 (limites d'utilisation de la source). Ils montrent que, pour des distances d'expo-

sition supérieures à 7 m, la source ne présente plus de risque. La matérialisation de la zone de risque sur la figure 10 met en évidence que seuls les postes 1, 2 et 3 présentent un risque potentiel car ils sont situés à l'intérieur de cette zone. L'analyse détaillée peut donc se limiter à l'étude de ces trois postes de travail.

Analyse des risques dans une configuration particulière

Ce type d'analyse nécessite de définir la position de la source par rapport à l'observateur. Pour ce faire, la source, repérée par son centre, est inscrite dans un plan XY et les yeux de l'observateur se déplacent sur l'axe Z. La représentation des trois

Fig. 11. Sélection de la source - Selection of the source

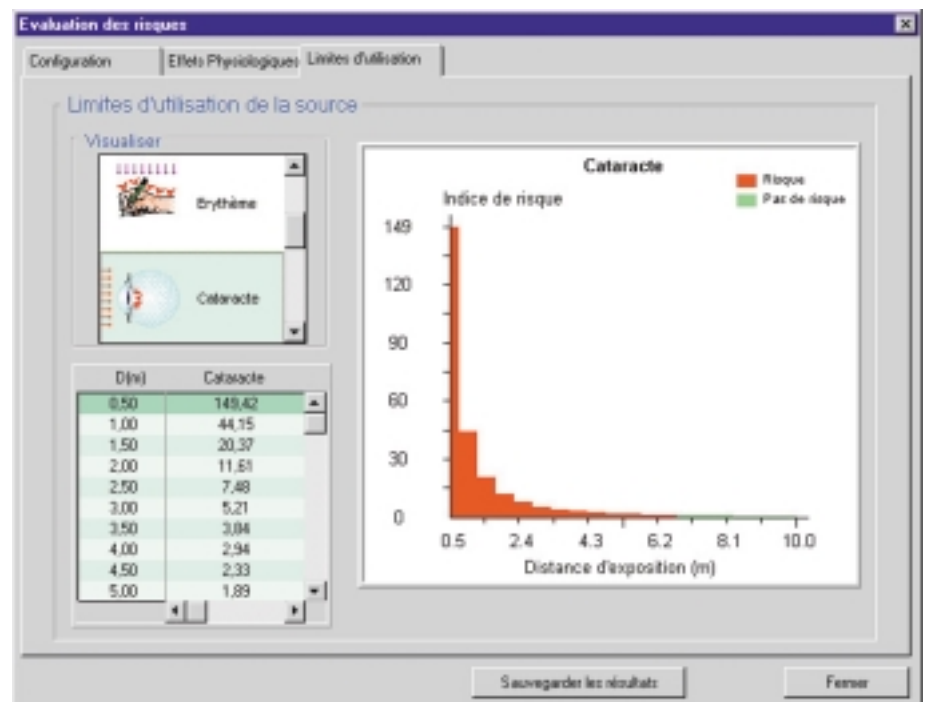
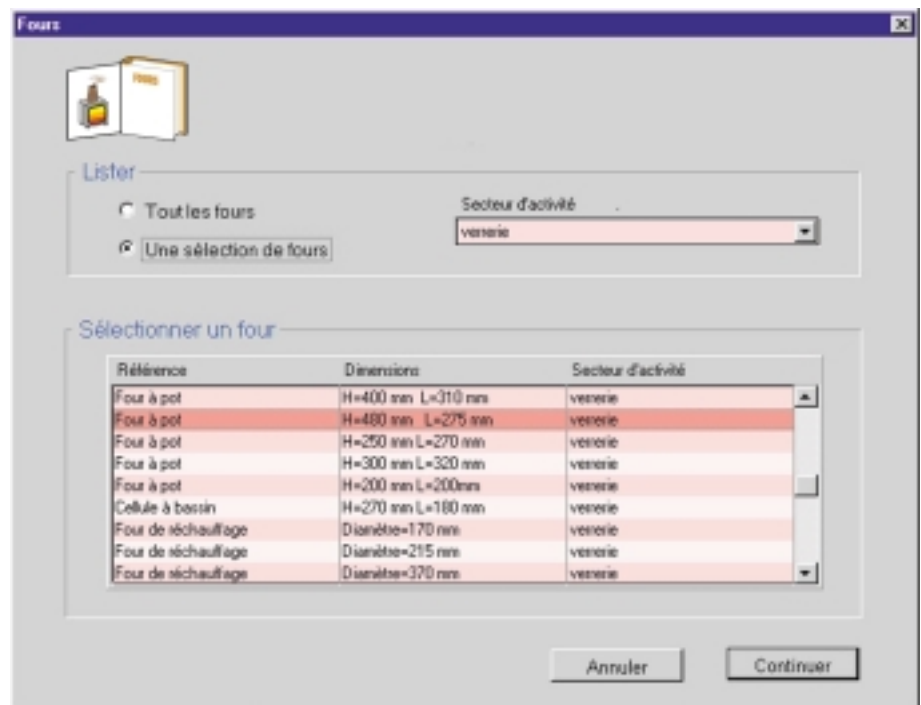


Fig. 12. Exemple d'analyse des risques en fonction de la distance d'exposition - Example of risks analysis with respect to exposure distance

postes de travail concernés, définis dans le repère XYZ, est donnée *figure 13* et les paramètres correspondants sont détaillés dans le *tableau III*.

Pour chaque poste de travail étudié, les données du tableau III sont saisies dans le volet « Configuration ». Après validation de la configuration, le volet « Effets physiologiques » fait apparaître que le four concerné présente un risque dans le domaine infrarouge. Les effets à long terme de ce type d'exposition sont des cataractes.

Pour les postes de travail 1, 2 et 3, le volet « Indice de risque » montre que les indices de risques sont respectivement égaux à 25, 4,6 et 1,9 (cf. *fig. 14*, résultats du poste 1).

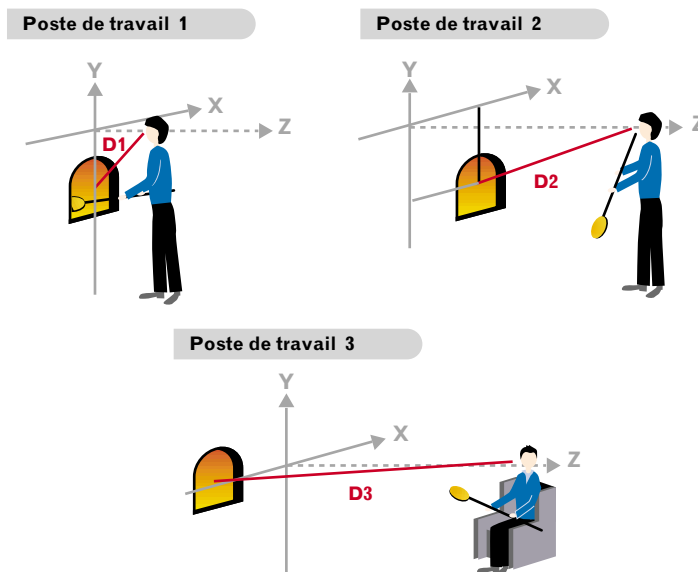


Fig. 13. Représentation des postes de travail 1, 2, et 3 définis dans le repère XYZ - Representation of work stations 1, 2 and 3 defined in the XYZ coordinate system

CONCLUSION - PERSPECTIVES

CatRayon permet d'apporter une réponse rapide aux problèmes liés à l'exposition aux sources de rayonnement optique. Cependant, pour continuer à fournir des réponses adaptées aux besoins des utilisateurs, il sera nécessaire d'une part, de suivre l'évolution des limites d'exposition et d'autre part, d'enrichir régulièrement les bases de données relatives aux sources de rayonnement optique. D'autres perspectives d'évolutions de CaRayon peuvent d'ores et déjà être envisagées, tant du point de vue de l'évaluation des risques que de la détermination des moyens de protection à mettre en œuvre.

■ En ce qui concerne l'évaluation des risques :

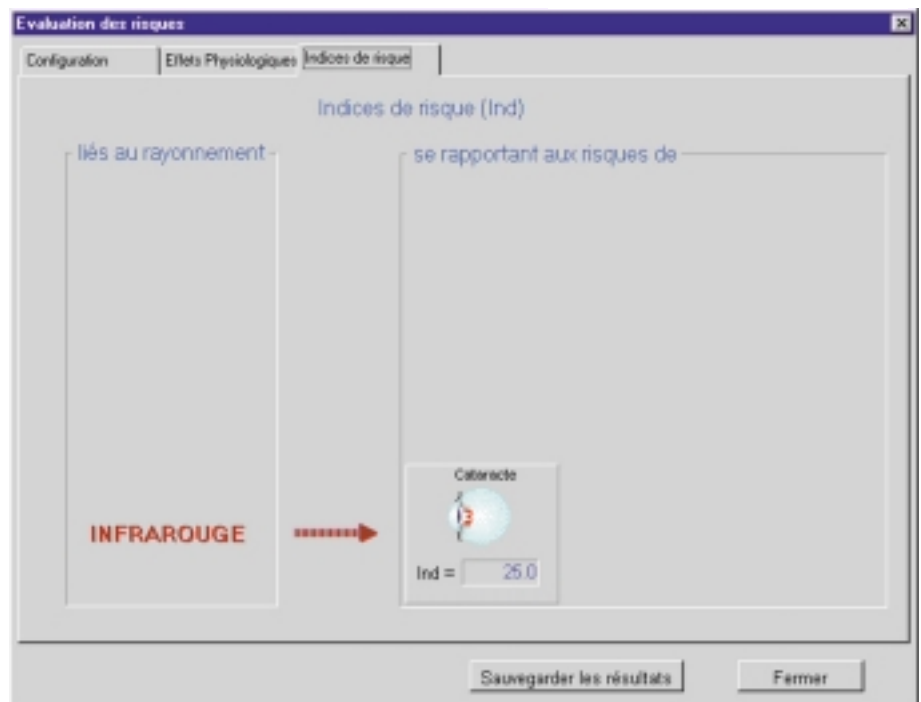
- la prise en compte de la directivité des sources ponctuelles (cf. § 2.2) devrait

TABLEAU III

PARAMÈTRES UTILISÉS POUR LA DESCRIPTION DES POSTES DE TRAVAIL 1, 2, 3 - PARAMETERS USED TO DESCRIBE WORK STATIONS 1, 2 AND 3

Poste		1	2	3
Position du centre de la source	X	0	1 m	0,50 m
	Y	-0,75 m	-0,75 m	0,10 m
Distance d'exposition		0,90 m	3 m	5 m
Durée d'exposition journalière		6 h	6 h	6 h

Fig. 14. Indice de risque correspondant au poste de travail - Risk index corresponding with to work station 1



améliorer la précision des calculs d'exposition. En effet, l'intensité énergétique des lampes est rarement constante dans toutes les directions. Les calculs relatifs à la configuration source-observateur nécessiteraient donc de tenir compte de la répartition spatiale relative de l'intensité énergétique des lampes ;

- CatRayon limite l'exposition à une seule source de rayonnement optique. Or, dans de nombreuses situations, plusieurs personnes peuvent être exposées simultanément à plusieurs sources émettant des rayonnements différents en quantité et en qualité (niveau d'émission et répartition spectrale). CatRayon devrait donc, dans une forme future, permettre d'évaluer l'exposition dans les locaux de travail. Dans ce cas, l'évaluation des risques au poste de travail pourrait ainsi être complétée par une cartographie de l'exposition dans le local concerné.

Ces deux points font l'objet d'une nouvelle étude.

■ ■ En ce qui concerne les moyens de protection à mettre en œuvre, le complément indispensable au catalogue de source est sans aucun doute un catalogue de filtres de protection. Ce catalogue, en cours de réalisation, devrait vraisemblablement être intégré au catalogue de sources avec deux options possibles :

- la première consisterait à sélectionner manuellement différents types de filtres,
- la seconde, à déterminer automatiquement le ou les filtres adaptés à la situation étudiée.

Glossaire

C	Facteur de configuration d'une source plane de forme complexe
C_c	Facteur de configuration d'une surface circulaire
C_e	Facteur de configuration d'une surface elliptique
C_r	Facteur de configuration d'une surface rectangulaire
C_{ref}	Facteur de configuration de référence d'une source plane de forme complexe
C_t	Facteur de configuration d'une surface triangulaire
D	Distance source-observateur définie par l'utilisateur (m)
D_{ref}	Distance source-observateur de référence (m)
ds	Désignation d'une source élémentaire
ds'	Désignation d'une surface réceptrice élémentaire
$E_{ref,\lambda}$	Eclairement énergétique spectrique dans la configuration de référence ($W.m^{-2}.nm^{-1}$)
E_x	Eclairement énergétique dans le domaine spectral x ($W.m^{-2}$)
E_{λ}	Eclairement énergétique spectrique dans une configuration source-observateur définie par l'utilisateur ($W.m^{-2}.nm^{-1}$)
H_x	Exposition énergétique dans le domaine spectral x ($J.m^{-2}$)
I_x	Indice de risque dans le domaine spectral x
L_x	Luminance énergétique dans le domaine spectral x ($W.m^{-2}.sr^{-1}$)
L	Luminance énergétique spectrique de la source ($W.m^{-2}.sr^{-1}.nm^{-1}$)
N_c	Nombre de surfaces circulaires
N_e	Nombre de surfaces elliptiques
N_r	Nombre de surfaces rectangulaires
N_t	Nombre de surfaces triangulaires
S	Désignation d'une surface plane de forme complexe
S_c	Désignation d'une surface circulaire
S_e	Désignation d'une surface elliptique
$Signe_c$	Signe d'une surface circulaire
$Signe_e$	Signe d'une surface elliptique
$Signe_r$	Signe d'une surface rectangulaire
$Signe_t$	Signe d'une surface triangulaire
S_r	Désignation d'une surface rectangulaire
S_t	Désignation d'une surface triangulaire
$S_{\lambda}, B_{\lambda}, R_{\lambda}$	Efficacité relative spectrale
t	Durée d'exposition journalière (s)
Δ_{λ}	Largeur de bande (nm)
α	Angle sous-tendu par la source (rd)

BIBLIOGRAPHIE

- MURRAY W.E. - Ultraviolet radiation exposures in a mycobacteriology laboratory. *Health Physics*, 1990, 58, pp. 507-510.
- WHILLOCK M.J., BANDLE A.M., TODD C.D., DRISCOLL C.M.H. - Measurements and hazard assessment of the optical emissions from various industrial infrared sources. *Journal of Radiological Protection*, 1990, 10, pp. 43-46.
- GIES H.P., ROY C.R., ELLIOT G. - Artificial sun-tanning : spectral irradiance and hazard evaluation of ultraviolet sources. *Health Physics*, 1986, 50, pp. 691-703.
- LYDALHL E., GLANSHOLM A., LEVIN M. - Ocular exposure to infrared radiation in the Swedish iron and steel industry. *Health Physics*, 1983, 46, pp. 529-536.
- MARSHALL W.J. - Non ionizing radiation protection. Infrared radiation hazard evaluation of the rotary forge, Waterliet arsenal. Aberdeen proving ground. *US Army Environmental Hygiene Agency*, 1978, Special study n° 42-0360-78.
- BARLIER-SALSI A., SALSI S. - Lampes à rayonnement ultraviolet - Quantification des risques associés à leur utilisation. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1998, 170, pp. 49-56.
- BARLIER A., SALSI S. - Rayonnement infrarouge et cataracte - Evaluation des risques à proximité d'un four à induction. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1995, 161, pp. 469-475.
- BARLIER A. - Rayonnements optiques dans une forge - Mesures et moyens de protection. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1994, 155, pp. 181-193.
- SALSI S., BARLIER A. - Lampes tungstène halogène - Risques et limites d'utilisation. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1992, 148, pp. 329-343.
- SALSI S., BARLIER A. - Rayonnements optiques émis lors du soudage à l'arc avec électrodes enrobées - Risques et moyens de prévention. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1991, 143, pp. 223-233.
- SALSI S., BARLIER A. - Rayonnements optiques dans les verrières à main - Etude de 21 postes de travail. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1987, 126, pp. 75-87.
- BARLIER-SALSI A., SALSI S., KLINGLER A. - Réalisation d'un catalogue informatisé interactif pour l'évaluation des risques relatifs aux sources de rayonnement optique. *Vandœuvre, INRS, coll. Notes Scientifiques et techniques*, 1999, 175, 77 p.
- Vocabulaire international de l'éclairage. Paris, Commission Internationale de l'Eclairage, 1987, document CIE n° 17.4, 365 p.
- BARLIER-SALSI A., SALSI S. - Eclairement énergétique produit par une source de rayonnement optique plane de forme complexe dans un direction quelconque - Calcul du facteur de configuration par la méthode des éléments finis. *Vandœuvre, INRS, Notes Scientifiques et techniques*, 1996, 140, 60 p.
- IRPA/INIRC. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). In : A.S. Duchêne, J.R.A. Lakey, M.H. Repacholi (éds) - *IRPA guidelines on protection against non-ionizing radiation*. Pergamon Press, 1991.
- ICNIRP - Guidelines on UV radiation exposure limits. *Health Physics*, 1996, 71, 6, p. 978.
- ICNIRP - Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 mm). *Health Physics*, 1997, 73, 3, pp. 539-554.

