

## Analyse de cas pratiques de l'exposition de travailleurs à différentes sources de rayonnements optiques artificiels



# SOMMAIRE

- Introduction
- Nature du risque
- Evaluation du risque
  - Méthodes
  - Exemples
- Réduction du risque
- Conclusion

## Références réglementaires :

- directive ROA 2006 25/CE et décret de transposition 2010-750 imposent à l'employeur l'évaluation des risques associés aux Rayonnements Optiques Artificiels.

## Arrêtés « mesurage » de 2016 :

- relatif aux modalités de l'évaluation des risques résultant de l'exposition aux rayonnements optiques artificiels

Entrée en vigueur 1/04/2016

Normes de référence : Incohérents EN 14255, laser EN 60825-1 (2014)

Méthodes : bibliographique ou documentaire  
théorique  
mesurage

- relatif aux conditions d'accréditation des organismes pouvant procéder au mesurage de l'exposition aux rayonnements optiques artificiels

Entrée en vigueur 1/01/2018

Documents de référence COFRAC Lab Ref 036

**Lasers et sources incohérentes mêmes textes réglementaires**, mais la **nature du risque** « lasers » et des « sources incohérentes » (SI) est **différente** pour les deux aspects inhérents à la notion de risque.

Le risque **laser** est de nature généralement **probabiliste**, alors qu'il est souvent **déterministe** pour les SI. Le **niveau de danger** (E/VLE) pour les **lasers** est **important** alors que pour les SI, il est la plupart du temps **réduit**.

## **Exemple de la comparaison du niveau de danger :**

Laser Nd:YAG continu, l'éclairement énergétique accessible avec une puissance de 50 W et un diamètre de 10 mm est  $E = 5 \cdot 10^5 \text{ W/m}^2$  -  $VLE = 50 \text{ W/m}^2$

Le niveau de danger est :  $E/VLE = 10^4$

Lampe à arc Xenon continue, l'éclairement énergétique à 1 m avec une puissance de 50 W, une surface de 2 mm x 1 mm mais une divergence de 45° est  $E = 6 \text{ W/m}^2$  -  $VLE$  (petite source) =  $44 \text{ W/m}^2$

Le niveau de danger est :  $E/VLE = 0,14$

- ⇒ Du fait de la nature **déterministe**, le **mesurage avec les SI** est **possible** alors qu'il est, souvent, **impossible** avec les **lasers**, (cf Arrêtés)
- ⇒ L'évaluation du **niveau de danger** pour les **SI** sera souvent effectuée à partir d'un **temps maximal d'exposition**, ce qui est très rare avec des lasers,
- ⇒ La **classification des SI** sera basée sur ce temps maximal d'exposition **EN 62471** et **EN 16237** sauf pour le dernier groupe de risque (GR3 – EN 62471) ou la dernière classe (classe 6 – EN 16237) et
- ⇒ La **prévention** sera basée sur la **gestion de ce temps d'exposition** et la **protection** sera souvent **individuelle** pour le personnel intervenant d'où ce **vide normatif** sur les **règles d'utilisation** (aménagement, conditions d'installation, éléments de consignes,...) pour les **SI** alors qu'il existe un TR EN 60825-14 pour les lasers.

En référence au décret 2010-750 sur les ROA et à l'arrêté « Mesurage », l'évaluation du risque peut donc être effectuée par :

- Une approche **bibliographique** et/ou **des documents du fournisseur** – Pour la partie laser la norme EN 60825-1 :2014 est citée en référence alors que pour les SI ce sont les normes EN 14255 qui sont listées. On peut mentionner, non cité dans l'arrêté, **le Guide à caractère non contraignant pour la mise en œuvre de la directive 2006/25/CE sur les rayonnements optiques artificiels**
- Des **calculs théoriques** et des **simulations**
- Des **mesurages** lorsque les approches précédentes se sont avérées inefficaces

Le **point 1 « documentation »** pourrait être déduit de la classification selon les normes EN 62471 ou EN 16237, mais l'immense majorité des sources incohérentes ne sont pas classées et lorsqu'elles le sont le marquage ne figure pas sur l'équipement. La norme EN 62471 n'est pas harmonisée et donc non obligatoire.

La norme **EN 62471** (2008) concerne la «sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes» et définit les **groupes de risque** et les **procédures de classification**.

	Danger	UV actinique	UVA	Thermique Œil	Lumière bleue	Thermique rétinien
GR0	Pas de danger	30000 s	1000 s	1000 s	10000 s	10 s
GR1	Pas de danger en utilisation normale	10000 s	300 s	100 s	100 s	10 s
GR2	Pas de danger si réflexe d'aversion ou inconfort thermique	1000 s	100 s	10 s	0,25 s	0,25 s
GR3	Danger même si exposition courte					

# EVALUATION DU RISQUE : LASERS

Le **point 1 « documentation »** à partir de la norme EN 60825-1 (2014) concernant la «classification des matériels et exigences », qui est une norme obligatoire en France puisqu'elle est reprise dans des textes réglementaires (Décrets 2007-665, 2012-1303 et Arrêtés de 2016). Toutefois ceci n'est pas sans poser problème car les VLE du décret 2010-750 et celles de la norme sont légèrement différentes.

Classes	1	1M	2	2M	3R	3B	4
Œil vision faisceau à l'aide d'optiques		X	*	X	XX	XX	XX
Œil vision directe ou réflexion spéculaire			*	*	*,X	XX	XX
Œil vision réflexion diffuse						⌘	XX
Peau						X	XX
Incendie							●

XX dangereux

X danger potentiel

\* sans danger si réflexe palpébral et  $t < 0,25s$

⌘ danger si  $d < 13cm$  et  $t \geq 10s$

● peut générer un incendie

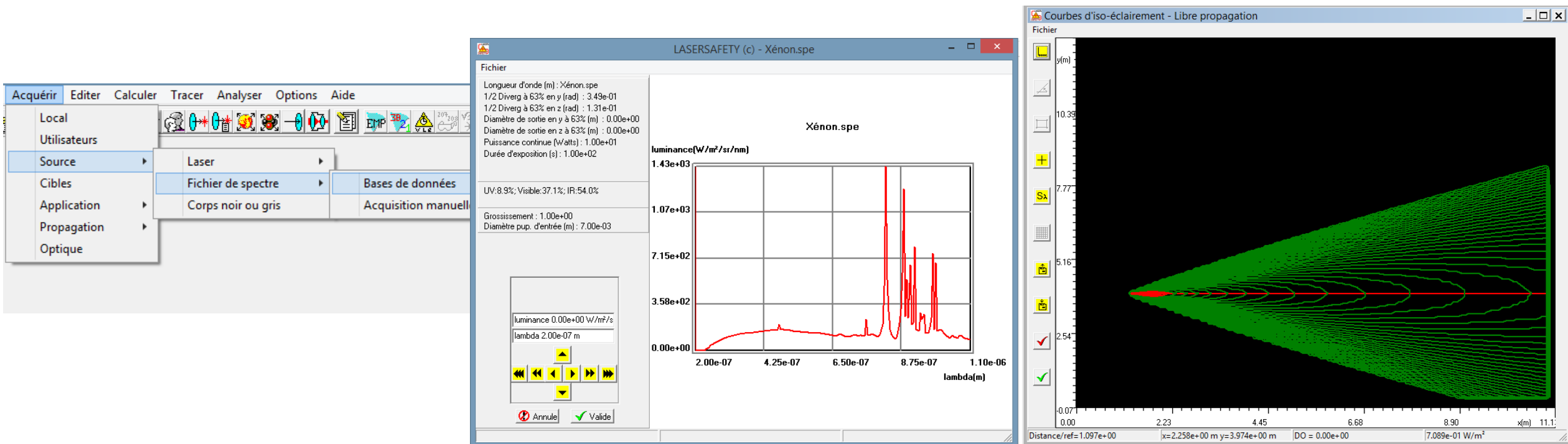


## Point 2 « évaluation théorique » :

Pour une **distance donnée**, calcul du **temps maximal d'exposition**

Pour un **temps d'exposition donné**, calcul de la **distance de sécurité** (appelée DNDO ou DNDC pour les lasers)

Outils permettant cette évaluation théorique : **LASERSAFETY**, **CATRAYON**, **EXCEL**



# EVALUATION DU RISQUE : LASERS

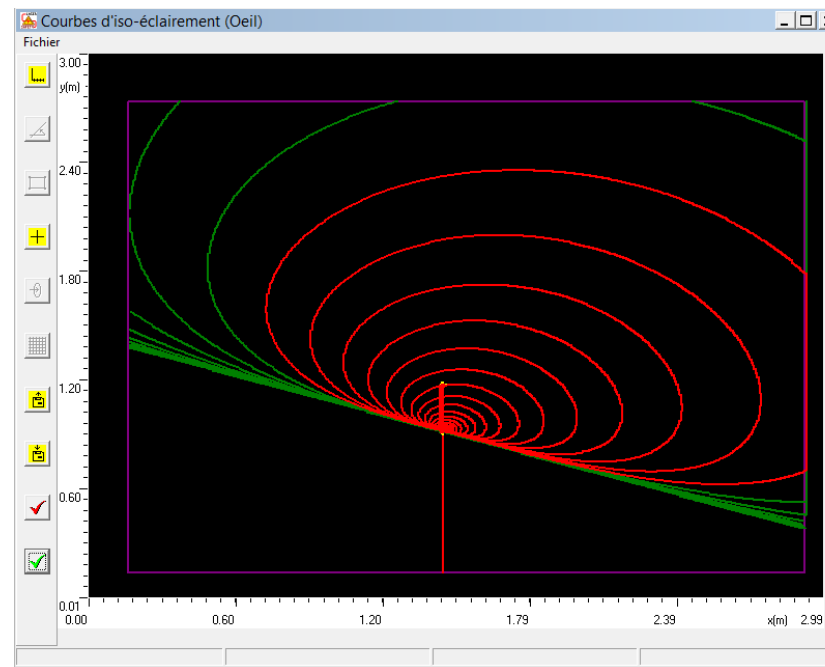
## Point 2 « évaluation théorique » :

Pour un **temps d'exposition fixé** (Fabricant ou utilisateur), calcul de la  $D\lambda = \log_{10} E/VLE$ , de la **distance de sécurité** (DNDO ou DNDC)

Outils permettant cette évaluation théorique : **LASERSAFETY, ...**

Recommandations	Normale	Source laser	Chemin optique	Zone d'utilisation
<b>Agencement</b>				
revêtement mat aux murs et plafonds				
utilisation de matériaux peu inflammables				
éclairage 500lux				
écran et rideau donnant sur extérieur				
espace dégagé				
une installation laser par zone protégée				
faisceau non dirigé vers portes et fenêtres	x	x	x	x
hauteur du faisceau différente de celle des yeux	x	x	x	x
laser instrumentés et composants fixés	x	x	x	x
absorbeur en fin de parcours	x	x	x	x
absorbeur incombustible M0 ou M1				
<b>Moyens techniques et limitation intensité</b>				
trajet du faisceau encloué au maximum	x	x	x	x
élimination des surfaces réfléchissantes	x	x	x	x
puissance du faisceau à travers les optiques inf. à la LEA de classe 1M	x	x	x	x
commande et appareil de mesure non exposés				
<b>Limitation des accès</b>				
réduction du nombre de personnes présentes au maximum				
accès exclusif aux personnels formés				
protection des accès pas sas	x	x	x	x
interphone ou sonnette				
affiche extérieure sur tous les accès				
affichage des consignes				
verrine mal placée				
éviter de travailler seul si phase à risque				
prendre en charge les visiteurs	x	x	x	x

Analyse du risque (AMDEC)



Evaluation du niveau de danger après réflexion sur une cible

### Configuration

Config : Alphanov.la  
Date : 24/02/2020

### Laser

Référence IPG 10 kW Config 1  
Fonctionnement continu  
Longueur d'onde (nm): 1030.0  
Puissance (W): 1.000e+04  
Divergence à 1/e (mrad): 44.000  
Diamètre à 1/e en sortie (mm): 4.000

### EN 60825-1:2008

Oeil  
EMP (W/m²): 4.57e+01  
Dlambda : 6.75  
Classe 4  
DNDO direct (m) : 3.78e+02  
DNDO diffuse (m) : 8.34e+00  
DNDO G1.0 (m) : 3.79e+02

### Peau

EMP (W/m²): 9.14e+03  
DNDC (m) : 2.65e+01

### EN 207/208/12254

Lunette de type LB9D (F:5.1)  
EN 208 s'applique seulement de 400 à 700nm  
Ecran de type AB10D (F:4.0)

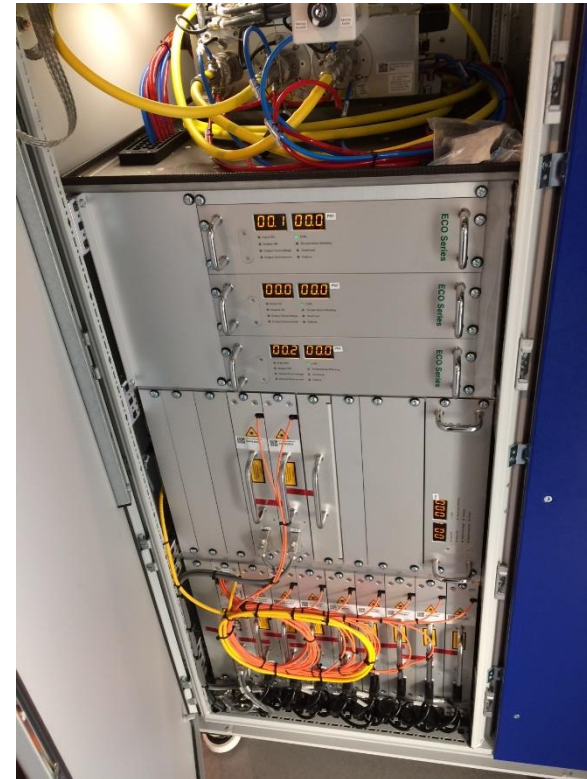
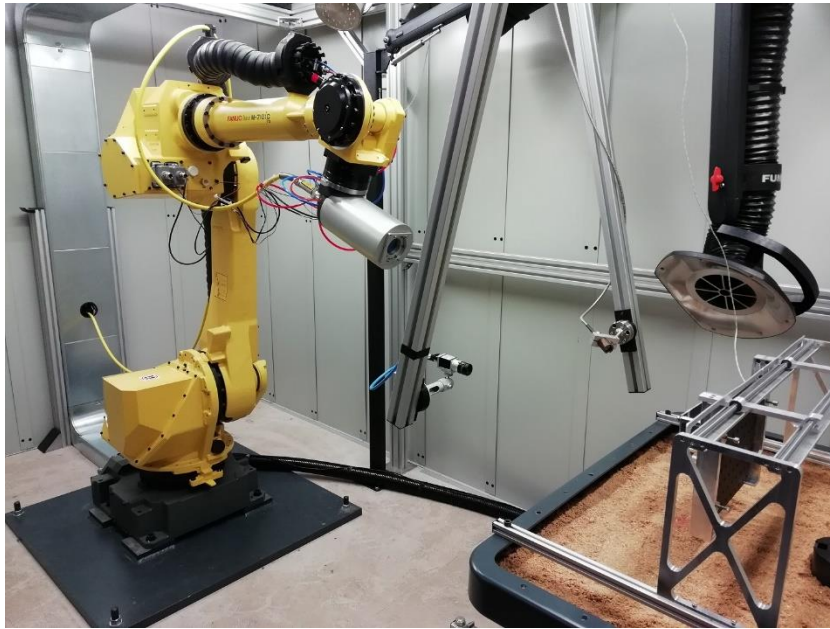
**Le point 3 « Mesurage »** doit être effectué en référence aux normes EN 14255 pour les SI alors que pour les lasers, du fait de la nature probabiliste, le mesurage n'est pas adapté (sauf exposition à des réflexions diffuses)

**Les normes EN 14255** concernent «le mesurage et l'évaluation de l'exposition des personnes aux rayonnements optiques incohérents»:

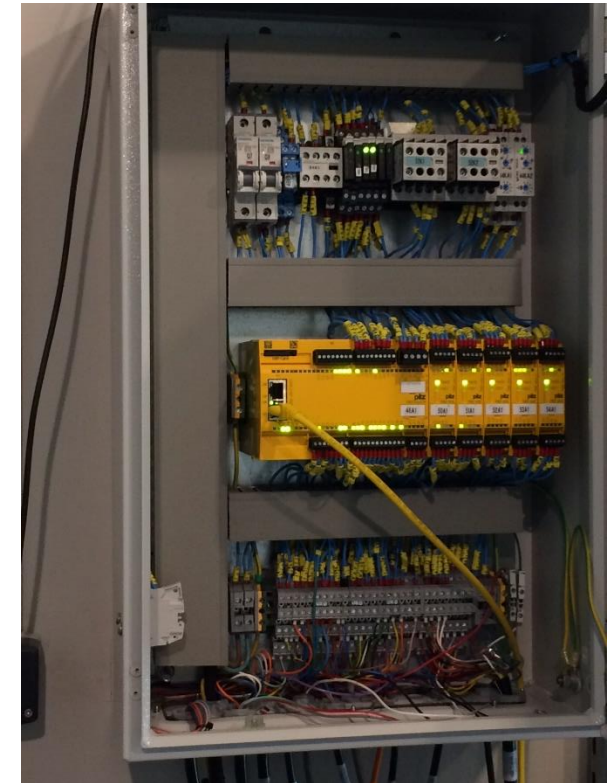
- **partie 1** (2005) : rayonnements ultraviolets émis par des sources artificielles sur les lieux de travail
- **partie 2** (2006): rayonnements visibles et infrarouges émis par des sources artificielles sur les lieux de travail
- **partie 3** (2008) : *UV émis par le soleil*
- **partie 4** (2006) : terminologie et grandeurs utilisées pour le mesurage de l'exposition au rayonnement ultraviolet, visible et infrarouge.

# EXEMPLE 1 : INSTALLATION LASER 10 kW

Défaillances matérielles :  
Local laser avec **protections actives**



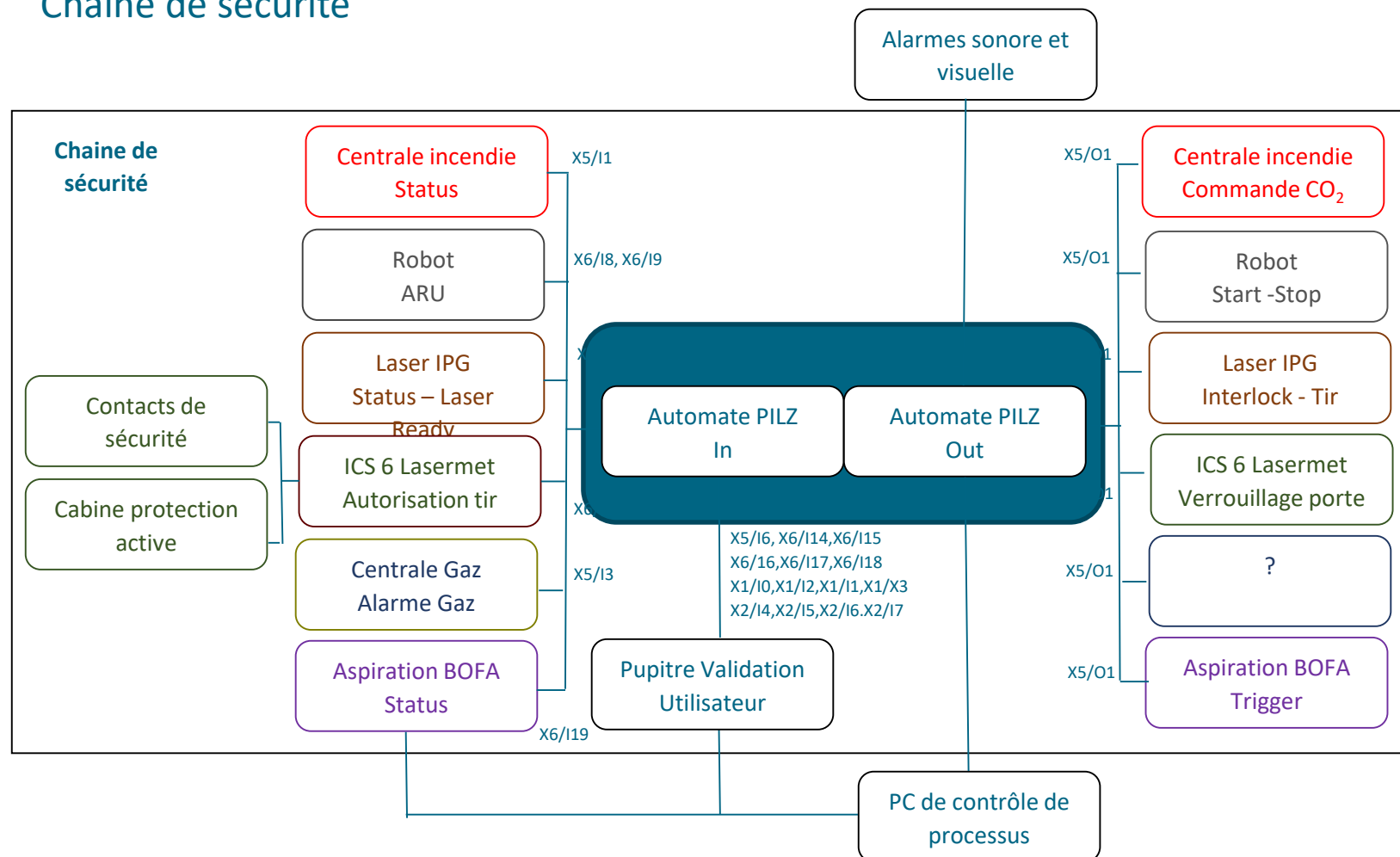
Défaillances humaines :  
**boitier avec procédures de séquence de tirs**



Défaillances matérielles et humaines :  
**Automate de sécurité**

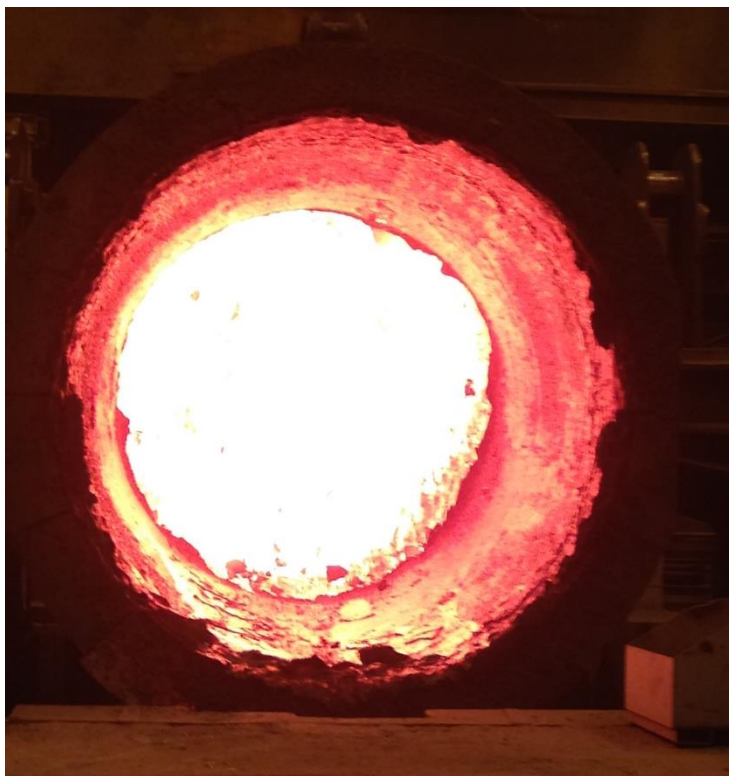
# EXEMPLE 1 : INSTALLATION LASER 10 kW

## Chaîne de sécurité





## EXEMPLE 2 : SOURCES INCOHERENTES



« Poche » céramique à  
1250 °C transportant de  
l'acier en fusion



# EXEMPLE 2 : SOURCES INCOHERENTES

Mesure 4

Mesures Risques

Pour une distance d'exposition donnée, c'est le temps maximal pour lequel la VLE et la valeur mesurée sont égales.  
Un temps infini signifie que la source est sans danger même pour une exposition de 30000 s.  
Plus le temps est long, moins la source est dangereuse.

Estimation du risque basé sur

- Maximun
- Moyenne
- Médiane
- +Probable

Paramètres fixes

Commentaire (max 24 caractères)

Mesure 4

Type de source Continue

Distance mesure (cm) 1500

Durée acquisition (s) 11.00

Fréquence acquisition (Hz) 1000.0

Température (°C) 1216.8

Emissivité (s.u) 4.43e-11

Gain Slambda 8

Gain UVA 8

Gain Blambda 8

Gain Rlambda 8

Gain Rlambda IR 8

Nouvelle distance (cm) 1500

Risque	VLE	Exposition mesurée	Temps max.	Niveau de risque	DNDO	Classification
Unité			s	s.u	m	EN 16237
Conditions			Distance 15.0m	Dist. 15.0m-Dur. 180	Durée 180s	
Slambda	3.00e+01 J/m <sup>2</sup>	0.00e+00 J/m <sup>2</sup>	infini	0.00e+00	0.00e+00	Classe 0
UVA	1.00e+04 J/m <sup>2</sup>	2.44e-01 J/m <sup>2</sup>	infini	2.44e-05	0.00e+00	Classe 0
Blambda	5.56e+03 W/m <sup>2</sup>	1.07e+00 W/m <sup>2</sup> /sr	infini	1.93e-04	0.00e+00	Classe 0
Rlambda	2.80e+05 W/m <sup>2</sup>	1.54e+03 W/m <sup>2</sup> /sr	infini	5.50e-03	0.00e+00	Classe 0
Rlambda IR	2.80e+05 W/m <sup>2</sup>	1.54e+03 W/m <sup>2</sup> /sr	infini	5.50e-03	0.00e+00	Classe 0
Thermique Oeil	3.66e+02 W/m <sup>2</sup>	6.90e+02 W/m <sup>2</sup>	7.73e+01	1.88e+00	2.13e+01	Classe 6
Thermique Peau	3.56e+03 W/m <sup>2</sup>	6.95e+02 W/m <sup>2</sup>	infini	1.95e-01	5.39e+00	Classe 6

Paramètres variables pour l'analyse de risque

Durée d'exposition (s) 180

Angle de divergence à 50% (°) 90.00

Distance d'évaluation du risque (cm) 1500

Forme de la source

- Ellipse
- Rectangle

Longueur de la source (mm) 3401

Largeur de la source (mm) 3401

Reset

Protection risque thermique

Chercher protection manu

Chercher protection auto

Annuler protection

Critère transmission visible

- Oui
- Non

Transmission visible (%) 0

Sauver rapport

Imprimer rapport

Ci-contre, l'évaluation du niveau de danger par interprétation des mesures avec le ROAmètre à 15 m et pour une durée d'exposition de 3'.

Lors de cette phase, le niveau de danger est de 1,8 pour une durée d'exposition de 180 s et pour une distance de 15 m, jusqu'à une distance de 21 m le niveau de danger est supérieur à 1. Pour cette distance de 15 m, la durée maximale d'exposition est de 77 s.

Le logiciel permet également de trouver des EPI avec un critère de transmission dans le spectre visible fondamental pour que le personnel puisse les adopter.

# REDUCTION DU RISQUE : SOURCES INCOHERENTES



Les utilisateurs ont de grandes difficultés à définir les EPI et/ou les EPC:

- Les EPC font défaut (sauf pour les rideaux de soudage)
- Les EPI passifs sont difficiles à choisir car les normes EN 169 (soudage) EN 170 (lampes UV), EN 171 (sources thermiques) sont relatives à des applications. Pour vérifier l'adéquation, il est nécessaire d'évaluer le niveau de danger en intégrant l'émission spectrique pondérée par la courbe de transmission du filtre et la courbe de risque ( $S\lambda$ ,  $B\lambda$ ,  $R\lambda$  ou 1)

MARQUAGE DES OCULAIRES DES LUNETTES								
Couleur oculaire	Facteur minimal de transmission de la lumière visible	Échelon	EN 166				Pas de numéro de code	
			Filtres UV (EN 170)		Filtres IR (EN 171)	Filtres solaires (EN 172)		
			2	2C	4	5		6
			La perception des couleurs peut être altérée	La perception des couleurs n'est pas altérée		Sans spécificité de protection contre IR	Avec spécificité de protection contre IR	
CLAIR	80,0 %	1,1				5-1,1	6-1,1	
	74,4 %	1,2	2-1,2	2C-1,2	4-1,2			
FUMÉE LEGER	58,1 %	1,4	2-1,4	2C-1,4	4-1,4	5-1,4	6-1,4	
	43,2 %	1,7	2-1,7	2C-1,7	4-1,7	5-1,7	6-1,7	
	29,1 %	2	2-2	2C-2	4-2	5-2	6-2	
FUMÉE	17,8 %	2,5	2-2,5	2C-2,5	4-2,5	5-2,5	6-2,5	
	8,0 %	3,1				5-3,1	6-3,1	
TRÈS SOMBRE (pour soudure)	8,5 %	3	2-3	2C-3	4-3			3
	3,2 %	4	2-4	2C-4	4-4	5-4,1	6-4,1	4
	1,2 %	5	2-5	2C-5	4-5			5
	0,44 %	6			4-6			6
	0,16 %	7			4-7			7
	0,061 %	8			4-8			8
	0,023 %	9			4-9			9
	0,085 %	10			4-10			10
	0,0032 %	11						11
	0,0012 %	12						12
	0,00044 %	13						13
	0,00016 %	14						14
	0,000061 %	15						15
0,000023 %	16						16	

Le marquage des oculaires est composé de 2 chiffres (séparés par un "-") :

NUMÉRO DE CODE : de 2 à 6. Les oculaires pour soudure n'ont pas de code.

NUMÉRO D'ÉCHELON : de 1,1 (plus le % de transmission de la lumière visible est élevé, plus clair est l'oculaire) à 16 (plus le % de transmission de la lumière visible est bas, plus sombre est l'oculaire).

GAMME VENITEX® : les possibilités indiquées en bleu sont disponibles dans la gamme Venitex®.



# REDUCTION DU RISQUE : LASERS

Pour répondre à la nature probabiliste du danger, les utilisateurs vont soit porter systématiquement des EPI (laboratoires), soit veiller à ce que le faisceau soit entièrement capoté (industrie) :

- Les **EPC** doivent **supporter le faisceau laser** en cas de défaillance (EN 12254 et EN 60825-4)
- Les **EPI passifs** définis dans les normes **EN 207** (protection) **EN 208** (réglage) devraient tenir compte à terme de l'évolution technologique des lasers (lasers de courte durée et effet d'absorption saturable) et devenir **l'ISO 19818-1**.



Images publiées avec l'aimable autorisation de ARDOP

# CONCLUSION

La prise en compte du risque lié aux ROA par l'employeur et les utilisateurs reste difficile :

- D'une façon générale
  - ❖ la compréhension des textes est réservée à des initiés de l'optique
  
- Pour les sources incohérentes
  - ❖ l'utilisateur va être alerté par une sensation d'éblouissement lorsque l'émission dans le spectre visible est importante mais ce n'est pas toujours le cas (IR, UV lointain)
  - ❖ l'évaluation du risque ne peut qu'être rarement basée sur une approche documentaire (sauf pour les sources qui sont clairement sans risque). Les sources ne sont pas classées.
  - ❖ l'évaluation théorique et le mesurage sont délicats soit parce que les informations sont lacunaires (approche théorique) soit parce que des outils de mesure simples font défaut et que les mesures sur site sont difficiles.
  - ❖ la protection adaptée est difficile à définir.
  
- Pour les lasers
  - ❖ L'évaluation du risque est mieux maîtrisée même si souvent elle n'est basée que sur la classe
  - ❖ La protection individuelle est plus disponible et plus facilement définissable

En conclusion, sauf à être des spécialistes de l'optique, l'employeur et les utilisateurs doivent faire appel à des entités spécialisées pour prendre en compte le risque du aux ROA.

# PYLA

**CENTRE DE FORMATION**

Laser, Optique, Photonique  
Électronique & Hyperfréquences

[www.pyla-formation.com](http://www.pyla-formation.com)