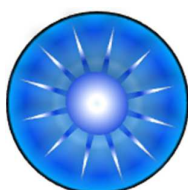


Risques et Sécurité associés aux procédés WAAM et WLAM

Steve RUDZ, GREMI UMR 7344

ANF Fab3D métallique

Bourges, 24-25-26 Novembre 2025



**Réseau
Plasmas
Froids**

Introduction

► C'est quoi le Risque?

Dictionnaire le Robert: « Danger éventuel plus ou moins prévisible »

Introduction



3

Introduction



4

a priori que des avantages! ...mais quels peuvent être les risques?



5

a priori que des avantages! ...mais quels peuvent être les risques?

- ▶ Risques oculaires
- ▶ Risques cutanés (étincelles et scories)
- ▶ Risques auditifs
- ▶ Risques respiratoires



6

a priori que des avantages! ...mais quels peuvent être les risques?... Et comment les prévenir?

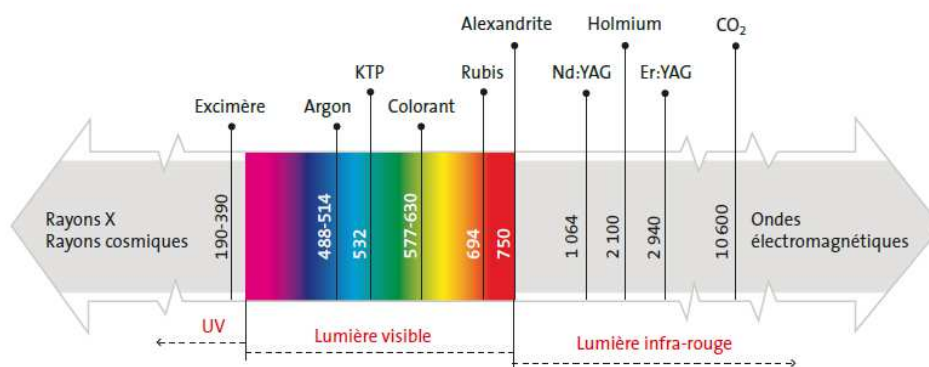
- ▶ Risques oculaires
- ▶ Risques cutanés (étincelles et scories)
- ▶ Risques auditifs
- ▶ Risques respiratoires
- ▶ Equipements de Protections Individuels (EPI)
- ▶ Equipements de Protections Collectifs (EPC)



7

Risques oculaires par rayonnement

- ▶ Que voyons-nous?

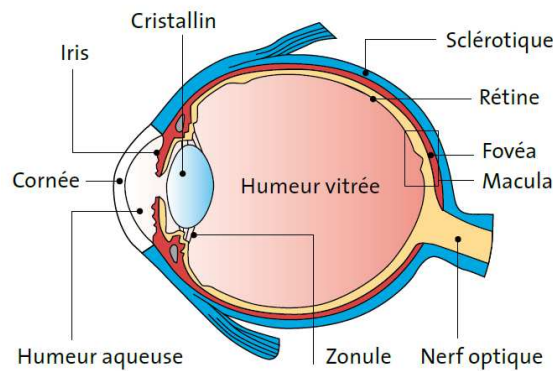


Ref: Guide risques liés aux lasers - CNRS 2019

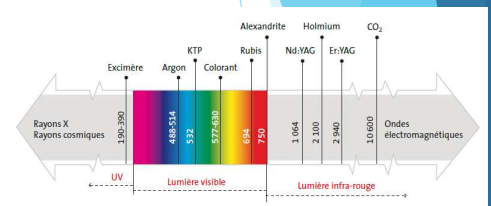
8

Risques oculaires par rayonnement

► Comment le voyons-nous



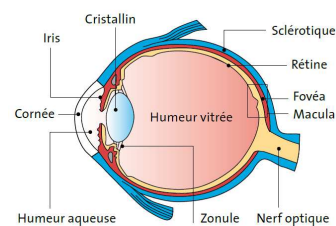
Ref: Guide risques liés aux lasers - CNRS 2019



9

Risques oculaires par rayonnement

► Quelles conséquences?



Longueur d'onde	Zone impactée	Temps réaction / douleur	Type de dommages	Dégâts réversibles ?	WAAM	WLAM
UV (100-400 nm)	Cornée / cristallin	Pas de douleur immédiate ; douleur 6-12 h après	Lésions photochimiques (kératite actinique), opacification du cristallin à long terme	Kératite souvent réversible en 24-72 h ; opacités du cristallin (cataracte) irréversibles	très exposé	faiblement exposé
Visible (400-700 nm)	Rétine	Réflexe : 0,15-0,25 s ; douleur parfois trop tardive	Brûlure rétinienne, photorétinite	Souvent irréversible (lésions rétinienne) ; parfois partiellement réversible selon atteinte	exposé	faiblement exposé
IR proche (700-1400 nm)	Rétine	Réactions lentes, douleur limitée	Lésions thermiques rétinienne	Très souvent irréversible (dommages thermiques rétinien)	un peu exposé	très exposé
IR >1400 nm	Cornée	Sensation de chaleur en 1-10 s	Brûlures de la cornée, opacification	Brûlures superficielles parfois réversibles ; lésions profondes et opacifications souvent irréversibles	un peu exposé	faiblement exposé

Risques oculaires par rayonnement

► EPI

- WLAM: Lunettes de protection selon la norme EN 207 (réglage EN 208)
exemple:
905-1080 DIR LB5

=> Gamme de longueurs d'ondes

=> Type de laser (D) continu, (I) pulse $\geq 1 \mu s$, (R) pulse 1 ns-1 μs

=> LB n° niveau de protection sans destruction

- WAAM : Norme lunettes :
 - EN 166 - protection individuelle de l'œil (obligatoire pour toutes les lunettes de soudage)
 - EN 169 - filtres pour soudage, couvre UV, visible et IR et définit des niveaux de teintes (DIN) de 4 à 14 (10-14 en WAAM)
 - EN 379 - filtres auto-obscurecissant

11

Risques oculaires par rayonnement

► EPC

► WLAM:

- Enceinte fermée avec fenêtre de visualisation (EN 207)
- Rideaux laser certifiés (EN 12254) : blocage de rayonnements laser diffus ou directs
- Peinture ou matériaux absorbants la longueur d'onde du laser

► WAAM :

- Cellule fermée de soudage : cloisonnement opaque pour éviter une vue directe de l'arc
- Ecrans de soudage ou rideaux : surveiller sans exposer (EN ISO 25980 (2023))

12

Exposition aux fumées: risque respiratoire et ses conséquences

- ▶ WLAM/WAAM: **cancérogènes**, dommages ADN, stress oxydatif...
- ▶ <https://www.inrs.fr/risques/fumees-soudage/ce-qu-il-faut-retenir.html>

Pathologie	Nom	POLLUANTS
aiguës	Œdème pulmonaire	Ozone, oxyde d'azote, phosgène
	Fièvre des métaux	Oxydes de zinc et de cuivre, oxyde de magnésium
	Asthme	Colophane, diisocyanate de toluylène, formaldéhyde
	Pneumonie toxique	Oxydes de manganèse, oxyde de cadmium, oxyde de béryllium
chroniques	Pneumoconiose	Oxydes de fer, oxyde d'aluminium, oxyde d'étain, oxyde de béryllium
	Bronchite chronique	Oxydes d'azote, ozone, oxydes de chrome, oxydes de nickel, oxydes de manganèse, oxyde de cadmium
	Atteinte du système nerveux central	Oxyde d'aluminium, oxydes de manganèse
	Atteinte rénale	Oxyde de cadmium, oxyde de plomb, dioxyde de thorium
	Cancer broncho-pulmonaire	Oxydes de nickel, composés du chrome, oxyde de cadmium, oxyde de béryllium

13

Exposition aux fumées: cadre réglementaire

- ▶ la **valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP-8h)** pour la totalité des particules des fumées de soudage est de **5 mg/m³**.
- ▶ Cependant, il existe des **VLEP spécifiques** pour certains constituants particulièrement dangereux (chrome VI, nickel, ozone, monoxyde de carbone, etc.)
- ▶ Selon l'**INRS**, les ateliers de soudage sont considérés comme des « locaux à pollution spécifique » : les concentrations moyenne en poussières totales et alvéolaires dans ces locaux sont réglementées selon le **décret n° 2021-1763 du 23 décembre 2021**.
- ▶ Les obligations générales : articles du **Code du travail** français – notamment :
 - ▶ **R. 4222-12** : captage des fumées « au fur et à mesure de leur production, au plus près de leur source d'émission, aussi efficacement que possible »
 - ▶ **R. 4412-1x** : prévention du risque chimique (arrêté, évaluation des risques, etc.).
- ▶ Concernant les maladies professionnelles : certains constituants des fumées de soudage sont reconnus dans les **tableaux de maladies professionnelles** (ex : chrome, fer, nickel, cadmium, etc.).

14

Exposition aux fumées: prévention

► EPI

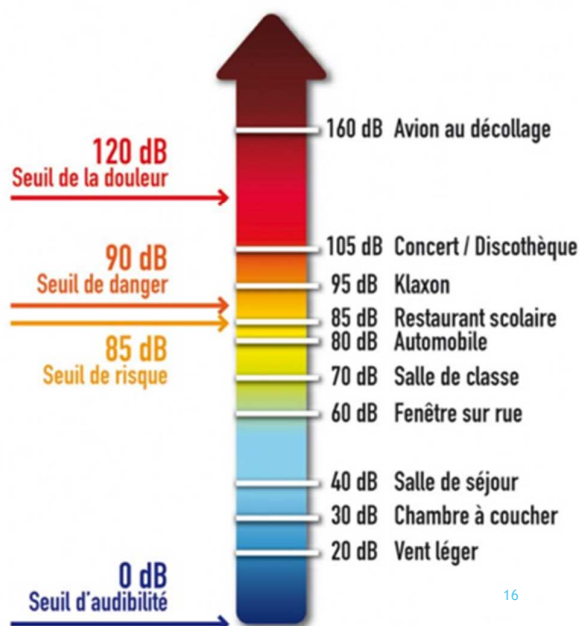
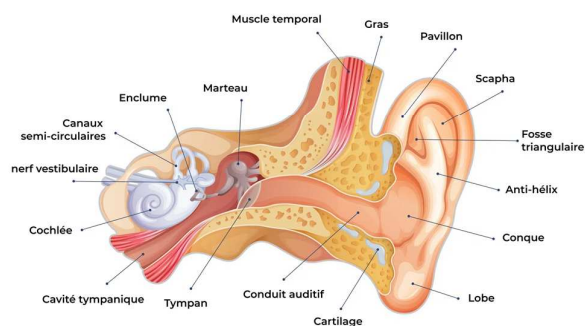
- **Masque filtrant FFP3** (usage court ou zone peu polluée)
- **Appareil à ventilation assistée avec filtre P3** (surtout WAAM)
- **Appareil respiratoire à adduction d'air** (Recommandé en cas de forte concentration de fumées, faible qualité d'extraction, ou atmosphère appauvrie en oxygène)

► EPC

- **Captage des fumées à la source :**
 - Bras aspirant articulé (LEV - Local Exhaust Ventilation)
 - Torches aspirantes (WAAM)
 - Buses d'extraction intégrées dans la cellule
- Ventilation générale du local avec débit suffisant, si besoin filtres (HEPA H13/H14 et charbon actifs)

15

Risques auditifs : quelques repères



16

Risques auditifs : les conséquences

Stades de la surdité à l'exposition au bruit (INRS)		
1 ^{er} stade	Surdité légère	Le sujet ne se rend pas compte de sa perte auditive car les fréquences de la parole sont peu touchées.
2 ^e stade	Surdité moyenne	Les fréquences aiguës de la conversation sont touchées, la discrimination fréquentielle est affectée. Le sujet devient "dur d'oreille" et ne comprend plus distinctement ce qui se dit.
3 ^e stade	Surdité profonde et irréversible	Le sujet n'entend plus, ou très peu, ce qui se dit.

17

Risques auditifs : prévention

► EPI

- Bouchons d'oreilles (PICB / EN 352-2), réduction typique : **20-35 dB**
- Casques anti-bruit (EN 352-1), réduction typique : **25-35 dB**
- Casque + bouchons (double protection), atténuation cumulée : **35-45 dB**

► EPC

- **Réduction du bruit à la source** (Torche WAAM à arc stabilisé (réduction bruit à hautes fréquences), ventilation basse nuisance (WLAM & WAAM)...)
- Parois absorbantes acoustiques
- Signalétique « zone bruyante » obligatoire si bruit > 80 dB(A)

18

Risques cutanés : les sources

► 2 sources différentes:

- Projections de métal en fusion, dépôt de particules chaudes
- Rayonnement:
 - UV/IR intense en WAAM
 - Rayonnement laser diffus ou réfléchi

19

Risques cutanés : la prévention

► EPI

- Protection du visage: cagoule, tour de cou
- Protection des mains: Gants anti-chaleur EN 407 (défini le comportement au feu, chaleur de contact, convective, radiante, petite projection de métal fondu, grosse projections de métal fondu)
- Protection du corps: vêtements ignifugés EN ISO 11611 (soudage)
- Protection des pieds : chaussures de sécurité (EN ISO 20349)

► EPC

- Rideaux de soudage (EN 25980)
- Zonage « pièces chaudes » avec pictogramme

20

MERCI 😊