

RISQUES LIÉS AUX ÉQUIPEMENTS LASERS MANUELS

Exemple du décapage de peinture thermolaquée

Portés par leur polyvalence et leur apparente facilité de mise en œuvre, les lasers manuels de forte puissance se diffusent rapidement. Souvent perçus comme des solutions « propres », ils peuvent néanmoins exposer les opérateurs à des rayonnements optiques intenses et émettre des fumées potentiellement dangereuses. Ces dangers, difficiles à maîtriser lorsque ces lasers sont utilisés en situation mobile, sont souvent sous-évalués. Cette note présente un exemple de caractérisation des émissions liées au décapage de peinture thermolaquée et rappelle les principes de prévention nécessaires.

AUDREY
SANTANDREA,
MATHIEU
MARCHAL,
DENIS BEMER,
ANAËLLE
CLOTEAUX
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

DAMIEN
BRISSINGER,
NICOLAS
BOURGOGNE
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

ROMUALD
PAIN
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

Contexte

Les dispositifs lasers à commande manuelle, utilisés pour des opérations de soudage, décapage/nettoyage ou de découpe, se développent rapidement dans différents secteurs professionnels tels que le BTP et la métallurgie. Ces appareils offrent de nombreux avantages: une grande polyvalence d'usage, des coûts abordables, une grande facilité de prise en main et des performances intéressantes. Initialement utilisés dans des installations fixes et confinées, ils ont évolué, à la faveur des avancées technologiques, vers des équipements compacts et portatifs. Les procédés lasers manuels sont alors fréquemment présentés comme des solutions efficaces et polyvalentes, et comme des alternatives plus faciles à utiliser, économiques et plus « écocompatibles » que les techniques plus traditionnelles. C'est le cas par exemple du décapage laser, qui ne nécessite pas d'apport de produits chimiques ou d'abrasifs, à l'inverse du sablage ou du grenailage.

Ces dispositifs s'appuient sur des lasers de forte puissance qui imposent une classification de ces équipements en classe 4 selon la norme NF EN 60825-1 [1]. L'exposition au faisceau laser émis, en direct ou après réflexion, même instantanée, peut entraîner des lésions oculaires et cutanées sévères et irréversibles¹. Au-delà de l'exposition au faisceau, l'interaction laser-matière mise en œuvre expose à d'autres risques:

- émission par le plasma de rayonnements optiques « parasites » (UV, visible et infrarouge);

- émission de substances dangereuses, sous forme de fumées constituées de particules et de gaz, issues de la matière ou des revêtements traités;
- inflammation des matériaux.

À l'heure actuelle, ces risques sont peu documentés, bien que des recommandations existent dans le cas du soudage laser [2-4]. De plus, l'utilisation des équipements lasers manuels pour des applications mobiles rend difficile la mise en œuvre des mesures de prévention habituellement recommandées (confinement, captage à la source et ventilation). De par leur mobilité et leur polyvalence, ces équipements lasers manuels génèrent des risques physique et chimique non systématiquement pris en compte lors de leur conception. À chaque nouvelle situation de travail, il est alors nécessaire de réaliser une évaluation des risques afin de prévoir des mesures de prévention adaptées.

Cadre réglementaire et responsabilité de l'employeur

Ces équipements sont des machines et doivent à ce titre répondre aux exigences essentielles de santé et sécurité de la directive Machine. Ils doivent notamment être accompagnés de la déclaration de conformité correspondante et d'une notice d'instructions. En complément, les articles du Code du travail (R. 4452-1 à R. 4452-31) relatifs à la prévention des risques liés à l'exposition aux lasers et aux rayonnements optiques artificiels imposent de comparer les niveaux d'exposition liés à l'utilisation



RÉSUMÉ

Les équipements lasers manuels se déploient actuellement pour des usages variés tels que le soudage, le décapage et la découpe. Bien qu'ils possèdent des atouts indéniables, les lasers utilisés peuvent provoquer des lésions graves et irréversibles. De plus, l'interaction entre le faisceau et la matière travaillée génère des rayonnements optiques « parasites »

(UV, visible et infrarouge) ainsi que des fumées (particules, gaz et composés organiques). Ces émissions peuvent conduire à des expositions préoccupantes, avec des risques optiques liés aux rayonnements et des risques chimiques liés aux fumées. À partir d'essais sur le décapage de peinture thermolaquée, cette note

illustre les niveaux d'émission observés, l'influence de certains paramètres opératoires et les besoins en matière de moyens de prévention : réduction des émissions à la source, confinement, captage des fumées à la source et ventilation, organisation du travail et choix d'équipements de protection individuelle adaptés.

RISKS ASSOCIATED WITH HANDHELD LASER EQUIPMENT: THE EXAMPLE OF POWDER-COATED PAINT REMOVAL

Handheld laser equipment is currently used for a wide range of applications, including welding, paint stripping, and cutting. While these systems offer undeniable advantages, the lasers used can cause severe and irreversible injury. Additionally, the interaction between the laser beam and the material being processed generates secondary optical

radiation (UV, visible, and infrared), as well as fumes containing particles, gases, and organic compounds. These emissions can lead to concerning levels of exposure, creating optical hazards related to radiation and chemical hazards associated with fumes. This technical note is based on tests carried out during the removal of powder-coated

paint. It illustrates the emission levels observed, the influence of certain operating parameters, and the preventive measures required to reduce emissions at the source. These measures include enclosing the work area, using local exhaust extraction and ventilation, organising the work process, and selecting suitable personal protective equipment.

de ces équipements aux valeurs limites d'exposition (VLE). Lorsque des risques sont identifiés, la recherche d'équipements permettant de réduire l'exposition s'impose.

De plus, l'employeur doit s'assurer qu'il dispose en interne des compétences pour maîtriser le risque laser (R. 4452-21). La formation de « personnes compétentes en sécurité laser (PCSL) » lui permettra de répondre à cette obligation réglementaire. Il devra également assurer la formation, l'information et le suivi des salariés susceptibles d'être exposés au laser.

Il peut pour finir s'appuyer sur la série de normes NF EN ISO 11553 qui décrit les préconisations permettant la maîtrise des émissions en fonction de zones de proximité du laser.

Objectifs de l'étude

Au vu de la croissance du nombre d'installations de dispositifs mobiles intégrant des lasers manuels de forte puissance, et dans un contexte de manque de connaissances des risques associés, il est apparu nécessaire de mieux appréhender les risques liés à l'utilisation de ces équipements émergents. Cet article présente les résultats des travaux expérimentaux menés à l'INRS concernant le décapage

d'une peinture thermolaquée, et les mesures rapportées permettent de mettre en évidence les risques chimique et optique induits par la technologie du décapage laser, ainsi que de préconiser des mesures de prévention adaptées. Les risques identifiés et les mesures de prévention associées pourront cependant être élargis à l'ensemble des procédés lasers mobiles.

Le décapage laser : principe et enjeux de prévention

Le décapage laser vise l'élimination de la couche superficielle (peinture, graisse, vernis, oxydes, etc.) d'un support (acier, métal, pierre, bois). Afin d'éviter d'endommager le matériau à découper, la plupart des procédés de décapage laser reposent sur l'utilisation de lasers pulsés. Les caractéristiques du laser (longueur d'onde, puissance, durée et fréquence d'impulsion) ainsi que la nature du revêtement à découper et du support traité et la présence ou non d'agent humidifiant influencent les mécanismes mis en jeu. De manière générale, lorsque le faisceau laser impacte l'échantillon à traiter, l'énergie délivrée non réfléchiée est absorbée en priorité par la couche en surface, ce qui entraîne son détachement du support par des phénomènes thermiques et/ou



← **FIGURE 1**
Cabine d'essai
utilisée pour
la caractérisation
des émissions
lors du décapage
laser manuel.

© Florian Lorange/INRS/2025

mécaniques. La formation d'un plasma entraîne l'émission d'un rayonnement optique intense et conditionne la nature des fumées générées. Celles-ci sont constituées d'un mélange de particules fines et ultrafines et de composés gazeux ou semi-volatils provenant du revêtement traité et dépendent donc directement de sa nature.

Les réglages du laser influent sur les performances du décapage (état de surface final, vitesse de traitement) et sur la nature et la quantité des émissions (chimiques et optiques) générées. Il est probable que des conditions opératoires privilégiant un décapage rapide et agressif produisent des émissions plus importantes incluant des composés dangereux pour la santé, tandis que des réglages plus modérés permettront dans certains cas de limiter la génération de fumées, potentiellement au prix d'un décapage moins efficace ou moins rapide. L'enjeu en matière de prévention consiste alors à identifier des conditions opératoires dont les performances répondent aux attentes industrielles, tout en limitant les émissions à la source pour réduire l'exposition des travailleurs.

Démarche expérimentale d'évaluation des expositions

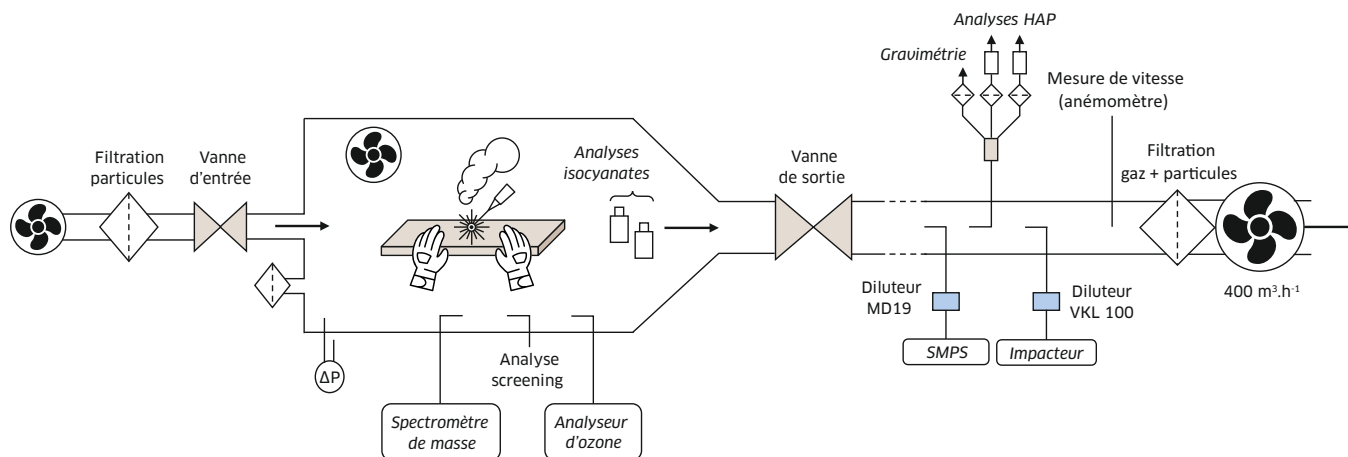
Conditions d'essais et matériaux étudiés

Les essais expérimentaux, réalisés en laboratoire, se sont concentrés sur le décapage laser d'une plaque d'acier inoxydable revêtu d'une peinture thermolaquée de couleur grise.

L'appareil de décapage utilisé contient un laser pulsé d'une puissance maximale de 300 W, d'une énergie maximale d'impulsion de 5 mJ, opérant à la longueur d'onde de 1064 nm et une distance focale de 254 mm. Le décapage a été réalisé selon deux types de conditions opératoires, basées sur les recommandations du fabricant de l'appareil pour le décapage de peinture. Le premier réglage prévoit une puissance moyenne de 300 W et une fréquence de pulsation de 150 kHz. Pour le second réglage, la puissance moyenne est de 100 W et la fréquence de pulsation de 40 kHz. Dans les deux cas, la durée de pulsation est de 150 ns.

Le banc d'essai a été conçu pour caractériser de manière sécurisée l'ensemble des émissions générées par le procédé de décapage laser (Cf. Figure 1). Il est constitué d'une boîte à gants d'un volume de 2,3 m³, munie d'un écran de protection contre les rayonnements émis par la réflexion du laser et le plasma généré lors du décapage. L'échantillon est placé sur un support plan déplaçable longitudinalement à l'aide d'une poignée. La tête du découpeur laser est fixée sur un rail et déplacée manuellement, de manière guidée, au-dessus de l'échantillon. La pression relative à l'intérieur de la cabine est contrôlée et maintenue à $(-5 \pm 2 \text{ mbar})$ par rapport à la pression atmosphérique afin d'éviter toute contamination du hall d'essai. Le mélange des polluants dans l'enceinte est assuré par un ventilateur interne. Afin de limiter les biais de mesure liés à la variabilité dans l'opération de décapage manuel





↑ FIGURE 2
Schéma du banc d'essai utilisé pour la caractérisation des polluants émis lors du décapage laser de peinture thermolaquée.

(expertise de l'opérateur, vitesse de décapage), les échantillons ont été décapés par le même opérateur pour les mesures.

Caractérisation des fumées émises

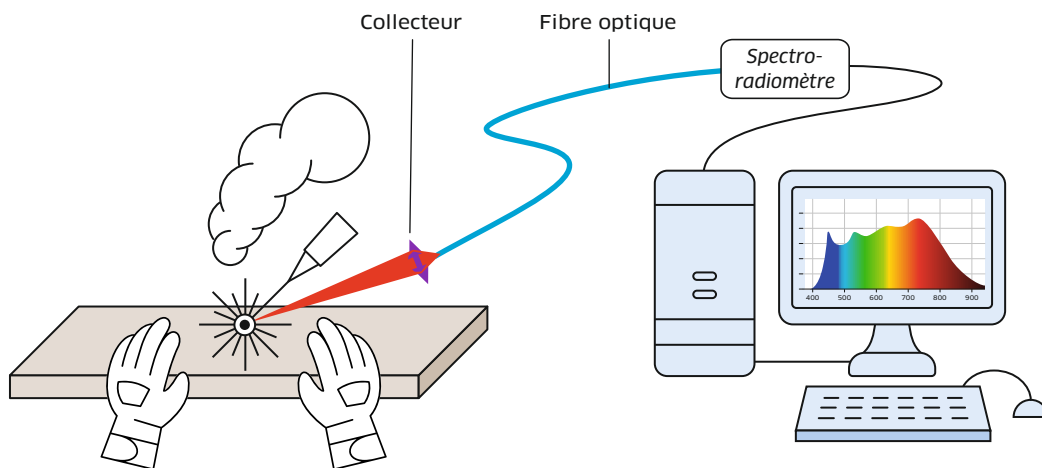
Le banc d'essai est muni de vannes en entrée et en sortie de l'enceinte afin de permettre deux configurations de mesure distinctes, effectuées par une combinaison de méthodes complémentaires impliquant à la fois des prélèvements dans le conduit de collecte et dans l'enceinte (Cf. Figure 2) :

- Un mode « ouvert » : les vannes sont ouvertes, et les polluants sont collectés et prélevés dans le conduit d'extraction (débit d'air fixé à 400 m³.h⁻¹) afin de limiter le dépôt de particules sur les parois. La granulométrie des particules produites est déterminée après dilution et la masse totale mesurée par gravimétrie après collecte sur filtre quartz de 37 mm. Des échantillonnages complémentaires sont réalisés afin d'identifier et de quantifier certains composés organiques susceptibles d'être émis lors du décapage laser de peintures, tels que des isocyanates [5] ou des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Les HAP visés correspondent aux 16 composés retenus comme prioritaires par l'agence environnementale américaine [6], et sont prélevés à l'aide de deux dispositifs placés en série : un filtre en fibres de quartz et un tube adsorbant XAD-2. Les isocyanates (MDI, 2,4-TDI, 2,6-TDI et HDI) sont recueillis en plaçant des dispositifs CIP 10 (capteur individuel de poussières) pour la fraction inhalable avec mousses imprégnées de polypropylène microcellulaire (MPP) directement à l'intérieur de la cabine. Les analyses chimiques des HAP et isocyanates générés sont réalisées en se basant sur les protocoles définis respectivement par les fiches MétroPol M-332 [7] et MétroPol M-451 et M-452 [8,9].

- Un mode « fermé » : les vannes sont fermées, et les polluants émis s'accumulent dans l'enceinte. Les prélèvements sont effectués directement dans la cabine. Cette configuration est peu adaptée aux mesures de composés sous forme particulaire, en raison d'un important dépôt sur les parois et des phénomènes de coagulation, mais permet la mesure de composés gazeux ou semi-volatils présentant une limite de détection élevée. Un prélèvement sur tube de thermodésorption est mis en place afin de réaliser une analyse semi-quantitative des principaux composés générés en phase gazeuse par screening [10]. Un spectromètre de masse quadripolaire permet la mesure de composés organiques volatils légers (m/z < 200) et de cyanure d'hydrogène (HCN). Un analyseur spécifique à l'ozone est également utilisé afin d'estimer la concentration en ozone généré par le plasma. Enfin, les teneurs en CO₂, CO, NO et NO₂ sont analysées par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

Caractérisation des rayonnements optiques

Pour la mesure des rayonnements optiques, le banc est équipé d'un spectroradiomètre (AvaSpec-ULS2048XL) sensible au rayonnement UV, visible et proche infrarouge entre 200 nm et 1 100 nm² (Cf. Figure 3). L'étalonnage préalable de l'appareil permet l'enregistrement de l'éclairement énergétique spectrique (E_λ, en W.m⁻².nm⁻¹) et limite l'effet de *straylight* (bruit de mesure provoqué par le laser). Le protocole s'appuie sur l'utilisation de filtres optiques. Ces filtres sont choisis pour mesurer l'émission spécifique à l'activité de décapage tout en évitant la saturation du spectroradiomètre provoquée par la réflexion du faisceau laser. La transmission des filtres a préalablement été caractérisée avec un spectromètre Lambda 950.



← FIGURE 3
Schéma du dispositif de mesure des rayonnements parasites émis (UV, visible et proche infrarouge).

↓ FIGURE 4
Illustration du dispositif de caractérisation des émissions de rayonnements parasites.

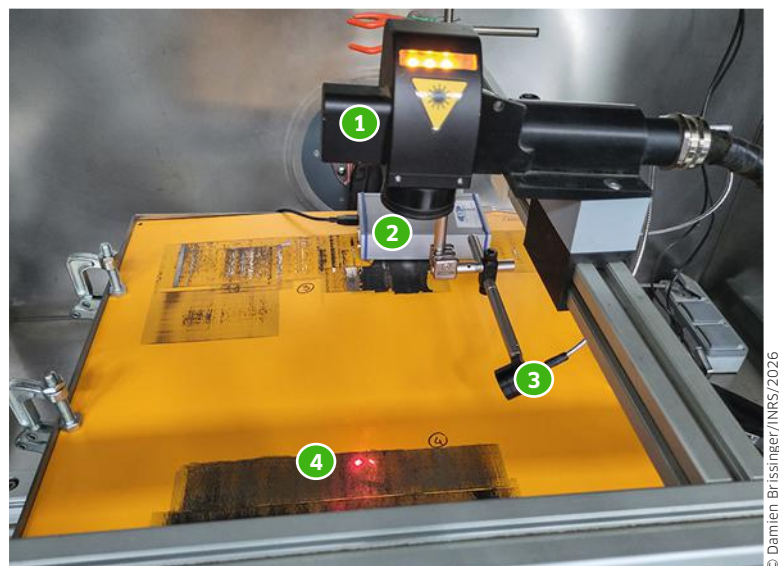
Les valeurs obtenues sont de l'ordre de 90 % (± 5 %) dans les gammes spectrales UV et visible et inférieures à 0,01 % au niveau de la longueur d'onde du laser utilisé. Pour synchroniser les déplacements, le collecteur est accroché de manière solide sous la tête du découpeur laser (à 15 cm du point d'impact laser ; Cf. Figure 4).

Niveaux d'exposition et risques identifiés

Risque chimique lié aux fumées de découpage

Les essais ont permis une première caractérisation des composés chimiques émis lors du découpage laser d'une plaque d'acier inoxydable revêtue d'une peinture thermolaquée avec deux réglages opératoires. Dans les deux cas, les poussières générées sont principalement des poussières alvéolaires (> 95 %), avec une forte proportion de particules ultrafines (< 100 nm) : environ 75 % pour le réglage n° 1 et 85 % pour le réglage n° 2. Des composés organiques dangereux pour la santé ont été identifiés, notamment des HAP, exprimés en équivalent benzo[a]pyrène (BaP_{eq}), ainsi que plusieurs isocyanates (MDI, 2,6-TDI, HDI), dont l'émission dépend fortement des réglages de l'appareil. Des composés gazeux et semi-volatils tels que le benzène, le styrène, le cyanure d'hydrogène, l'ozone et le monoxyde et le dioxyde de carbone ont également été détectés.

Le Tableau 1 présente les composés dont les débits d'émission sont susceptibles de conduire à des concentrations préoccupantes du point de vue sanitaire. Le réglage n° 1, plus agressif, génère globalement des débits d'émission plus élevés que le réglage n° 2, allant jusqu'à générer environ deux fois plus de poussières alvéolaires, de benzène et d'ozone. Avec le réglage n° 2, aucun des quatre isocyanates recherchés n'a été détecté, et les HAP sont émis en quantité nettement plus faible qu'avec

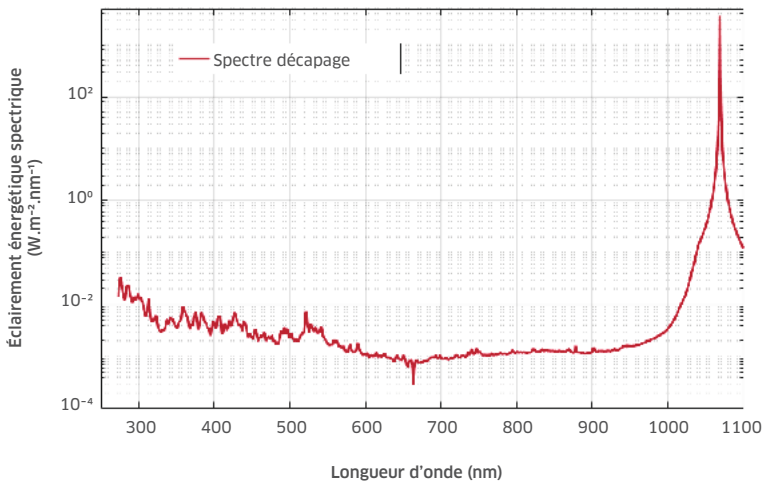


1 Tête du découpeur laser 2 Spectroradiomètre 3 Collecteur 4 Pointeur laser

COMPOSÉ	RÉGLAGE N° 1	RÉGLAGE N° 2
Poussières alvéolaires	$1,0 \times 10^3$	$0,5 \times 10^3$
HAP (BaP _{eq})	$85,4 \times 10^{-3}$	$3,2 \times 10^{-3}$
HDI	6,0	0
Benzène	90,5	51,8
Ozone	33,0	18,4

↑ TABLEAU 1 Estimation des débits d'émission des principaux composés identifiés lors du découpage laser d'une plaque d'acier inoxydable revêtue d'une peinture thermolaquée [$\mu\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$].

le réglage n° 1. Cette différence peut s'expliquer par des mécanismes de découpage différents. Pour le réglage n° 1, la présence de flammes au point d'impact suggère un mécanisme de découpage principalement thermique, favorable à la formation de HAP qui sont issus de phénomènes de combustion



↑ FIGURE 5
Représentation d'un spectre en éclairement mesuré à 15 cm du point d'impact laser, caractéristique des émissions parasites lors d'activités de décapage laser (réglage n° 1).

ou pyrolyse. À l'inverse, les observations visuelles suggèrent un effet davantage mécanique avec le réglage n° 2.

Cependant, des résidus de peinture sont toujours présents sur la surface testée avec le réglage n° 2, indiquant que les conditions opératoires choisies ne sont pas optimales. Néanmoins, ces résultats montrent que la fluence (densité d'énergie par unité de surface) est un paramètre crucial du procédé de décapage laser, qui doit être optimisé afin de réduire les émissions à la source, constituant un premier moyen de prévention avant même la mise en œuvre de solutions de captage ou de ventilation. En l'absence de captage à la source, le débit de ventilation générale Q [m³.h⁻¹] a été estimé pour chaque polluant conformément aux recommandations de l'INRS [11]:

$$Q = 3600 \times \frac{K \times D}{C - C_0}$$

Où D est le débit d'émission de polluant [mg.s⁻¹]; C représente la concentration admissible dans le local [mg.m⁻³]; C₀ est la concentration en polluant dans l'air neuf [mg.m⁻³; souvent nulle]; et K est un facteur de sécurité (généralement compris entre 3 et 10) tenant compte des conditions réelles d'exposition.

↓ TABLEAU 2
Principaux résultats de l'évaluation des risques optiques.

RISQUE	TEMPS [s]	VLEP [J.m⁻²]		EXPOSITION MESURÉE [J.m⁻²]	INDICE DE RISQUE
		FORMULE	VALEUR		
Réflexion laser (œil)	0,25	$90 \times t^{0.75} \times C_c \times C_e^a$	42	223	5,2
Réflexion laser (main)	10	$1,1 \times 10^4 C_a \times t^{0.25 b}$	97805	98700	1
UV (œil et peau)	15 x 60	$\Delta t \times \sum_{380}^{400} E_x \times S_x \times \Delta \lambda^c$	30	31,8	1

a. Dans la référence [13], Tableau 2.2: C_c et C_e représentent respectivement la transmission de l'œil et la correction liée à l'angle sous-tendu par la source et valent 1 et 4/3 dans la configuration étudiée.

b. Dans [13], Tableau 2.4: C_a représente l'absorption de la peau et vaut 5 à la longueur d'onde du laser.

c. Dans [13], Tableau 1.1: E_x × S_x représente l'éclairement énergétique spectrique pondéré par la sensibilité de l'œil et de la peau aux UV.

Le débit retenu correspond à la valeur maximale afin d'assurer une protection vis-à-vis de l'ensemble des polluants émis. Pour le réglage n° 1, le débit de ventilation générale est imposé par la quantité de poussières alvéolaires et de HAP émis, conduisant à une valeur de 4000 m³.h⁻¹ (calcul pour K = 1). Pour le réglage n° 2, ce sont les polluants gazeux qui imposent le dimensionnement, avec un débit de ventilation minimum de 2000 m³.h⁻¹ (calcul pour K = 1). Les calculs ayant été réalisés avec un facteur de sécurité égal à 1, il convient d'ajuster les débits en fonction de la valeur de K lorsqu'elle est connue. Les débits de ventilation générale ainsi calculés sont très élevés par rapport aux débits généralement mis en place dans des environnements industriels. Ils mettent ainsi en évidence la nécessité de privilégier la réduction des émissions à la source par l'optimisation des réglages du procédé, ainsi que la mise en œuvre de dispositifs de captage à la source adaptés.

Risque physique lié aux rayonnements optiques

Les mesures optiques ont permis d'obtenir le spectre représentatif des émissions parasites qui cumulent les émissions liées aux phénomènes physiques mis en œuvre lors du décapage et la réflexion diffuse du laser.

Pour la seule réflexion diffuse du laser, l'éclairement énergétique mesuré est d'environ 10⁴ W.m⁻² (à la longueur d'onde du laser ± 5 nm). On observe également un rayonnement continu des longueurs d'onde UV aux infrarouges (Cf. Figure 5). À partir de ces données, deux analyses de risques ont été menées. La première s'appuie sur l'éclairement énergétique mesuré à la longueur d'onde du pic laser conformément à la réglementation relative aux rayonnements cohérents [12,13]. La seconde analyse concerne l'ensemble des émissions parasites mesurées (réflexion laser et rayonnement continu UV-visible et infrarouge). Elle a été réalisée conformément à la réglementation relative aux rayonnements incohérents [12,13] à l'aide du logiciel CatRayon [14,15]. La source utilisée a été générée *via* le module « MesSources », en considérant un rayonnement isotrope incohérent issu du point d'impact laser. Les principaux résultats sont

reportés dans le *Tableau 2* (les indices de risque sont calculés en divisant la valeur de l'exposition par la VLE). Dans les deux cas, les évaluations de risque réalisées concordent et montrent un dépassement des VLE (i.e., un indice de risque supérieur ou égal à 1) dans le visible et l'infrarouge, correspondant aux risques de brûlure au niveau de la rétine (instantané) et de la main (après quelques secondes). L'analyse *via* l'outil CatRayon permet également d'identifier un risque de dépassement de la VLE dans l'UV pour l'œil et la peau au-delà de 15 minutes.

Mesures de prévention recommandées

Pour limiter l'exposition des travailleurs aux risques liés à l'utilisation d'équipements lasers manuels, il est important de privilégier les mesures de prévention collectives et organisationnelles par rapport aux moyens de protection individuelle.

Exigences de sécurité de l'équipement

L'équipement laser doit être conforme à la directive Machine et une évaluation des risques doit être menée à partir des données techniques disponibles dans la notice d'instructions. Il doit être muni d'un dispositif de commande nécessitant une action volontaire et maintenue pour déclencher l'émission. La combinaison de la commande d'actionnement avec l'autorisation de l'émission du faisceau permet de réduire les risques d'exposition accidentelle. De plus, l'utilisation d'une clé de commande permet de restreindre l'utilisation aux personnes formées et autorisées. Elle doit donc être

retirée du poste de commande entre deux utilisations. Enfin un dispositif d'arrêt d'urgence doit être présent et facilement accessible.

Réduction du risque à la source

Les résultats expérimentaux montrent que les émissions de polluants générées lors du décapage laser dépendent fortement des paramètres de réglage. L'optimisation des paramètres du procédé constitue le premier levier de prévention, en maintenant une efficacité de décapage satisfaisante et en limitant la puissance du faisceau laser émis et la formation de composés dangereux. Cette approche est à privilégier par rapport aux solutions de captage ou de ventilation, en particulier dans le cas d'applications mobiles.

Protection collective: confinement, captage et ventilation

La création d'une zone spécifique dédiée à l'utilisation de l'équipement laser permet de limiter l'exposition des personnes extérieures aux risques liés aux rayonnements optiques et aux fumées générées. Cette zone doit être un espace fermé, avec des accès restreints et contrôlés par des dispositifs interdisant l'émission laser en cas d'ouverture. Une signalisation lumineuse doit être visible à l'intérieur et à l'extérieur de la zone afin d'indiquer l'état de fonctionnement de l'appareil.

Afin de limiter les risques liés aux rayonnements, une seule installation laser doit être présente par zone d'utilisation, et les surfaces réfléchissantes doivent être évitées. En cas de présence de



© Hervé Boutet pour INRS / 2025



dispositifs de visualisation de l'intérieur de la zone, ceux-ci doivent garantir le maintien des niveaux d'exposition en dessous des VLE à l'extérieur de la zone, par exemple au moyen de vitrages filtrants adaptés ou de systèmes de caméras déportées. Le confinement de la zone de travail ayant pour conséquence de concentrer les polluants, un captage à la source et un renouvellement d'air adapté doivent impérativement être mis en place. Les résultats obtenus lors des essais montrent que, en l'absence de captage à la source, les débits de ventilation générale nécessaires pour maintenir une

concentration en polluants inférieure aux valeurs limites (recommandées pour les différents agents mesurés) sont très élevés, atteignant plusieurs milliers de mètres cubes par heure. Il est donc impératif de privilégier un captage des polluants au plus près de la source avant de mettre en œuvre une ventilation générale avec traitement des effluents. La puissance des faisceaux utilisés entraînant un risque d'inflammation accidentel, seuls des matériaux peu ou pas inflammables doivent être présents dans la zone de travail.

Équipements de protection individuelle et formation

Lorsque les mesures de prévention collective sont insuffisantes pour réduire l'exposition de l'opérateur à un niveau acceptable, le recours à des équipements de protection individuelle adaptés est nécessaire. Concernant la protection des yeux et du visage, il convient de porter un casque ou une visière permettant de réduire l'exposition au rayonnement laser en dessous des VLE et répondant à la norme NF EN 207. Le choix de cette protection dépend des caractéristiques du laser (longueur d'onde, puissance, régime de fonctionnement) mais également de l'ensemble du spectre des rayonnements présents UV, visible et infrarouge. Le port de vêtements résistants à l'inflammation sur l'ensemble du corps permet de réduire le risque d'exposition accidentelle au rayonnement laser et de se protéger contre les rayonnements diffusés. Une protection respiratoire adaptée doit également être mise en œuvre afin de protéger l'opérateur contre à la fois les particules, les gaz et vapeurs émis lors du décapage laser. Le choix de l'appareil de protection respiratoire à utiliser doit être fondé sur une évaluation des risques tenant compte des polluants (nature, concentration), de la situation, de l'environnement de travail et de l'opérateur [16,17]. La formation et l'information des personnes manipulant ces lasers ou accédant à la zone sont un levier important qui vient en complément des différentes mesures techniques. Cette formation est complémentaire à la formation PCSL évoquée précédemment et à la notice de poste visant à informer l'ensemble du personnel de la présence des risques liés à ces procédés lasers. La lecture de la notice d'instructions permet de connaître le fonctionnement de l'équipement et les consignes de sécurité pour une utilisation en sécurité. ●

1. L'exposition au faisceau réfléchi, pour une durée inférieure à 0,25 seconde, dépasse déjà la valeur limite d'exposition (VLE) et peut entraîner des lésions sévères et irréversibles.

2. Même si le Code du travail (art. R. 4452-1) indique une valeur basse de 100 nm, les mesures à cette valeur sont très exceptionnelles en raison de « limites de matériel ». Le dispositif utilisé dans l'étude limite la mesure entre 200 et 1 100 nm.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **NORME NF EN 60825-1** – Sécurité des appareils à laser. Partie 1 : classification des matériels et exigences. Afnor, 2014. Accessible sur : <https://www.afnor.org/> (site payant).
- [2] **SUVA** – Soudage et nettoyage au laser en toute sécurité. Accessible sur : <https://www.suva.ch/fr-ch/prevention/par-danger/materiaux-rayonnements-et-situations-a-risque/rayonnement-et-radioactivite/rayonnement-non-ionisant/utilisation-sure-des-postes-a-souder-laser> (consulté en novembre 2025).
- [3] **CARSAT DES PAYS-DE-LA-LOIRE** – Utilisation en sécurité des postes de soudage laser manuel. 2024.
- [4] **CARSAT DES PAYS-DE-LA-LOIRE** – Le soudage laser manuel. 2024.
- [5] **BOUTIN M. ET AL.** – Determination of airborne isocyanates generated during the thermal degradation of car paint in body repair shops. *The annals of occupational hygiene*, 2006, 50, pp. 385-393. Accessible sur : <https://doi.org/10.1093/annhyg/mei075>
- [6] **US EPA** – Method 610: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (HAPs). Code of Federal Regulations, 1993.
- [7] **INRS** – Base de données MétroPol. Méthode M-332: HAP. 2018. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_332
- [8] **INRS** – Base de données MétroPol. Méthode M-451: HDI. 2024. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_451
- [9] **INRS** – Base de données MétroPol. Méthode M-452: TDI 2-4 TDI 2-6. 2024. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_452
- [10] **INRS** – Méthode de screening. Un outil de diagnostic métrologique. 2025.
- [11] **INRS** – Principes généraux de ventilation. ED 695, 2022.
- [12] **DIRECTIVE 2006/25/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL DU 5 AVRIL 2006** relative aux prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (rayonnements optiques artificiels). *Journal officiel de l'UE du 27 avril 2006*. Accessible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr>
- [13] **DÉCRET N° 2010-750 DU 2 JUILLET 2010** relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels. *Journal officiel du 4 juillet 2010*. Accessible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr>
- [14] **BARLIER-SALSI A.** – Mesurer et évaluer l'exposition professionnelle aux rayonnements optiques artificiels (hors laser). *Guide méthodologique*. INRS, coll. Note scientifique NS 347, 2016. Accessible sur : <https://www.inrs.fr>
- [15] **INRS** – Outil n° 3 – CatRayon (5^e édition). Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil03>
- [16] **INRS** – Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation. ED 6106, 2020. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206106>
- [17] **INRS** – Le programme de protection respiratoire. Fiche pratique de sécurité ED 156, 2024. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20156>