



Rapport d'essai No 2025-011119

Traduction

<i>Objet</i>	Contrôle des installations de nettoyage laser à guidage manuel chez P-Laser GmbH Appareil d'essai 1 <ul style="list-style-type: none">- Fabricant: P-Laser- Modèle: QFC-100- N° de série: P23352- Longueur d'onde déclarée: 1064 nm- Puissance déclarée: 100 W (puissance moyenne)- Classe laser déclarée: 4 Appareil d'essai 2 <ul style="list-style-type: none">- Fabricant: P-Laser- Modèle: QF-1000 G4- N° de série: P24406- Longueur d'onde déclarée: 1064 nm- Puissance déclarée: 1000 W (puissance moyenne)- Classe laser déclarée: 4
<i>Mandat</i>	Mesure du rayonnement optique réfléchi sur différents matériaux d'un appareil de nettoyage laser à guidage manuel et évaluation conformément à la norme IEC 60825-1:2014.
<i>Requérant</i>	Suva Sécurité au travail et protection de la santé Rösslimattstrasse 39 6005 Lucerne
<i>Traçabilité</i>	Les résultats de mesure indiqués sont rattachés aux étalons nationaux et ainsi à des réalisations reconnues au niveau international des unités SI.
<i>Date de l'essai</i>	15 octobre 2025
3003 Berne-Wabern, le 2 mars 2026	
<i>Pour l'essai</i>	Fabio Rinderer, expert technique
<i>Validé par</i>	Dr. Florian Stuker, chef de laboratoire

1. Portée de l'essai

Différents appareils de nettoyage laser à guidage manuel sont utilisés par un spécialiste avec des paramètres réels pour effectuer différentes tâches de nettoyage sur les matériaux les plus divers. Le rayonnement optique réfléchi est enregistré dans la direction de rayonnement opposée.

2. Méthode de l'essai

L'essai est réalisé avec un système de mesure (Metas No 10600) composé d'une photodiode InGaAs présentant la sensibilité appropriée dans le domaine spectral infrarouge. Afin de pouvoir évaluer les dangers pour les yeux, on utilise une sphère intégrante avec un diaphragme d'ouverture de 7 mm. Pour l'amplification du signal, on utilise un amplificateur à transimpédance rapide. La saisie des données est effectuée à l'aide d'un transformateur de potentiel avec un taux de balayage de 4 Mhz (Metas No 8637). Les mesures sont réalisées lors de différentes opérations de nettoyage. Suite à l'étalonnage, la tension mesurée peut être reliée à la puissance de rayonnement optique pénétrant dans le diaphragme de 7 mm.

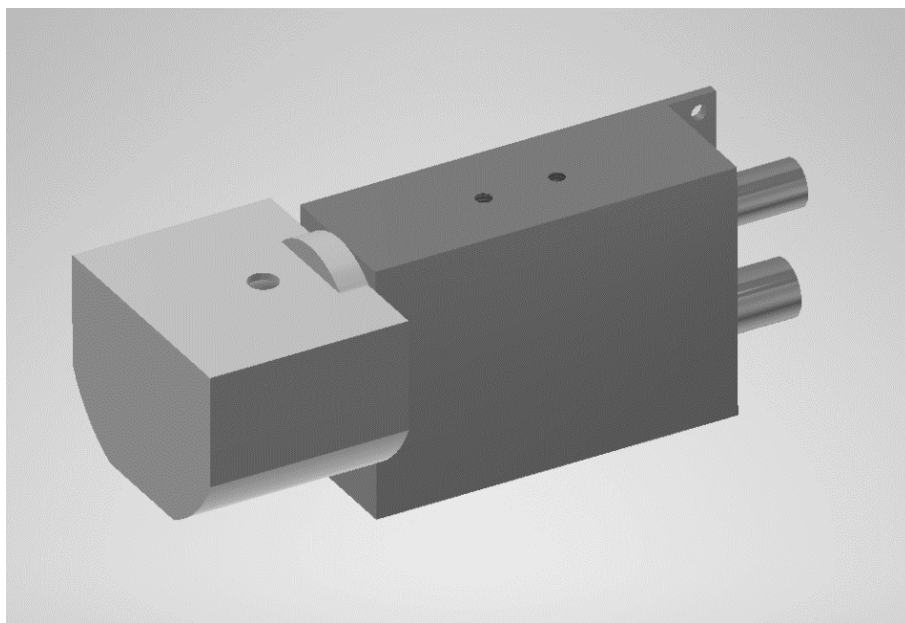
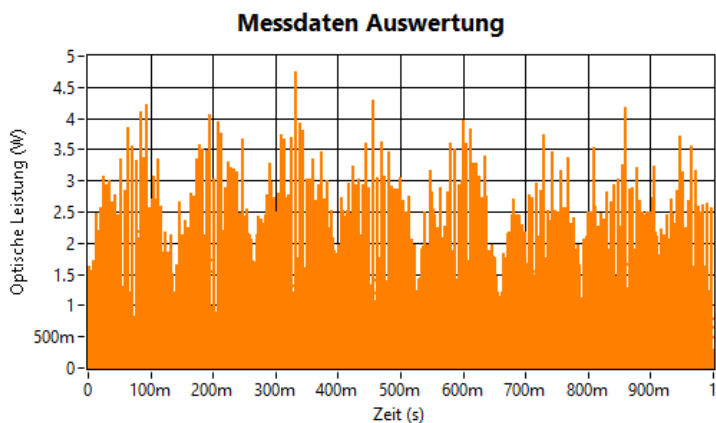


Fig. 1: schéma du système de mesure avec la sphère intégrante et l'ouverture de 7 mm (gris clair) et l'amplificateur à transimpédance avec photodiode InGaAs intégrée (gris foncé).

Rapport d'essai No 2025-011119

Les analyses d'un processus de travail sont représentées ci-dessous. En fonction de la grandeur mesurée recherchée, différents domaines d'analyse doivent être pris en compte.

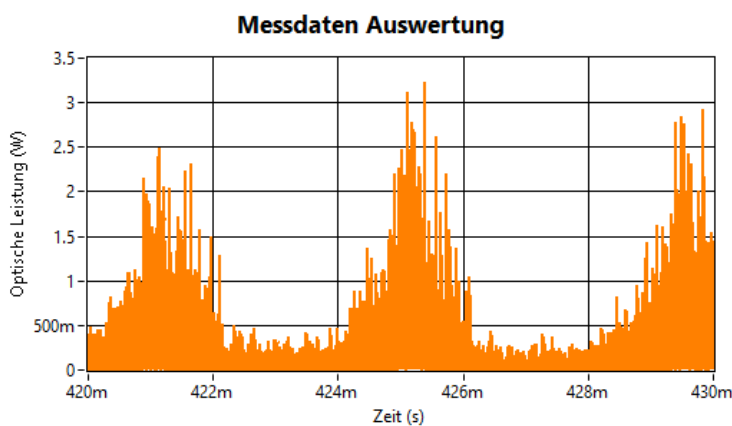


Représentation générale

Représentation temporelle:

1 s

Le graphique montre des pics d'impulsion à répétition. Le processus présente des pics de puissance récurrents.

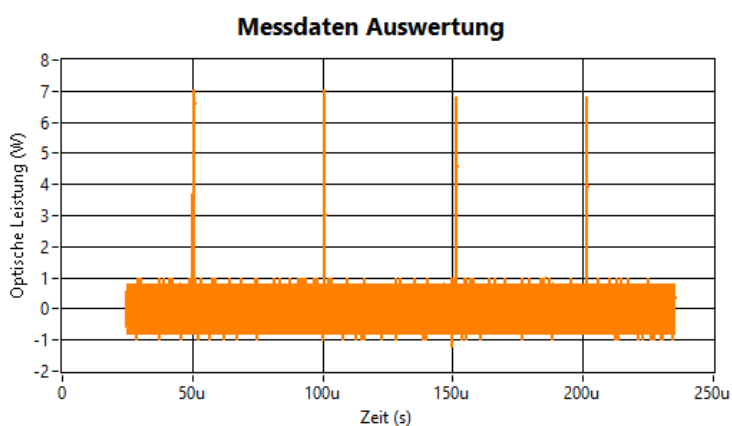


Période

Plage temporelle:

10 ms

Le graphique montre des motifs répétitifs.

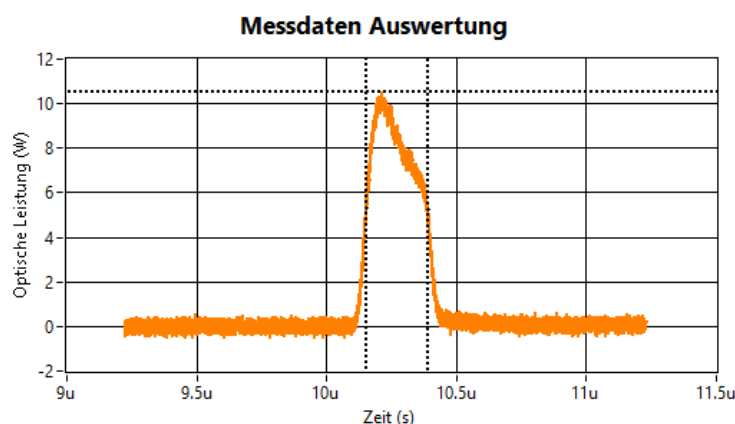


Séquence d'impulsions

Plage temporelle:

200 $\mu\sigma$

Le graphique montre les impulsions individuelles et la fréquence de répétition correspondante. La durée entre les impulsions est d'environ 50 $\mu\sigma$.



Impulsion unique

Plage temporelle

$$2\mu\sigma$$

Le graphique montre une crête d'impulsion unique. Dans cette analyse, la largeur d'impulsion est de 237 ns.

La séquence d'impulsions mesurée d'un processus de nettoyage pour la disposition des points de mesure et les matériaux correspondants est analysée à l'aide d'un logiciel. L'évaluation de l'analyse est réalisée conformément à la norme *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels et exigences IEC 60825-1:2014*.

Conformément à cette norme, le calcul des valeurs pour l'œil se réfère à la distance d'évaluation de 100 mm, et l'évaluation des dangers oculaires à un diaphragme de 7 mm de diamètre.

De même, le calcul des valeurs pour la peau se base sur une distance d'évaluation de 100 mm et sur un diaphragme de 3,5 mm de diamètre. L'évaluation du risque pour la peau est basée sur un petit diamètre de faisceau, et elle prend en compte une durée d'impulsion de 10 s en raison du processus de travail. Les valeurs d'exposition mesurées pendant une durée de 1 s sont considérées comme équivalentes pendant 10 s.

Le facteur de correction C_5 (évaluation pour l'œil) est défini selon les règles de classification de la norme (point 4.3f): $T = 30\ 000$ s est utilisé comme base de temps (dans le cas du nettoyage laser manuel, le travail comporte une activité visuelle). Avec un intervalle régulier entre les impulsions de 0,1 ms à 10 kHz, C_5 atteint le minimum de 0,4 après une durée de 2,5 s (nombre d'impulsions = 25 000). Le facteur de correction utilisé pour les évaluations des dangers oculaires est $C_5 = 0,4$.

Le facteur de correction $C_6 = 1$ est utilisé. On suppose que le processus de travail se déroule au point de focalisation du laser. Cela correspond à un angle d'observation réduit, qui est considéré dans ce cas comme le «scénario le plus défavorable».

Toutes les mesures sont basées sur une mesure des réflexions et non sur celle du rayonnement optique direct. On part de l'hypothèse que les réflexions sont mixtes (combinant des composantes diffuses et spéculaires).

Lors de l'analyse des impulsions, le scénario le plus défavorable est systématiquement retenu pour l'évaluation. Par conséquent, l'impulsion présentant le plus haut potentiel de danger est toujours prise en compte dans l'analyse.

Rapport d'essai No 2025-011119

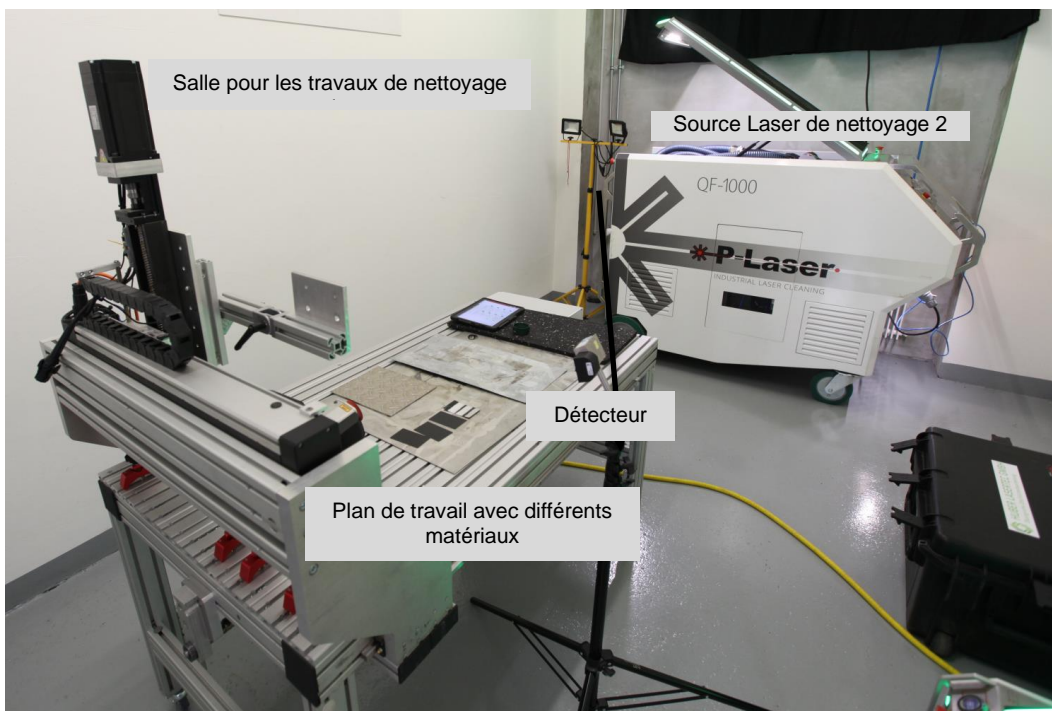


Fig. 2: salle d'essai utilisée à des fins de nettoyage et d'essai. On peut voir la source du laser de nettoyage 2, le plan de travail avec les matériaux d'essai et le détecteur pour la saisie des données mesurées.

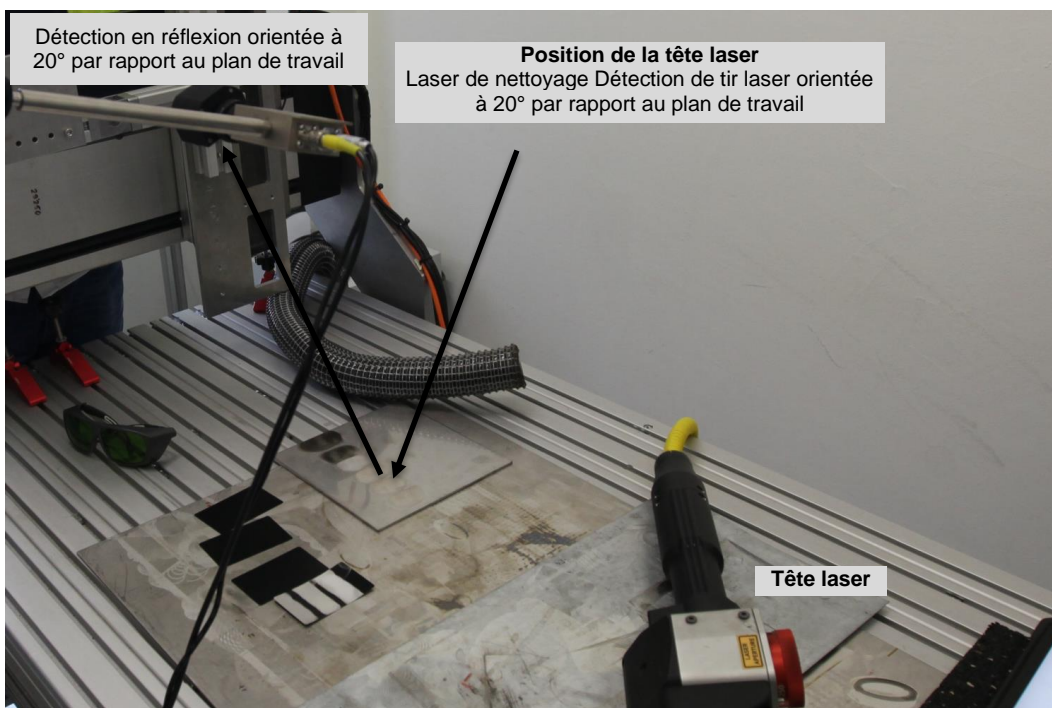


Fig. 3: dispositif d'essai, positionnement du détecteur avec un diaphragme de 7 mm pour l'évaluation des dangers oculaires et le plan de travail

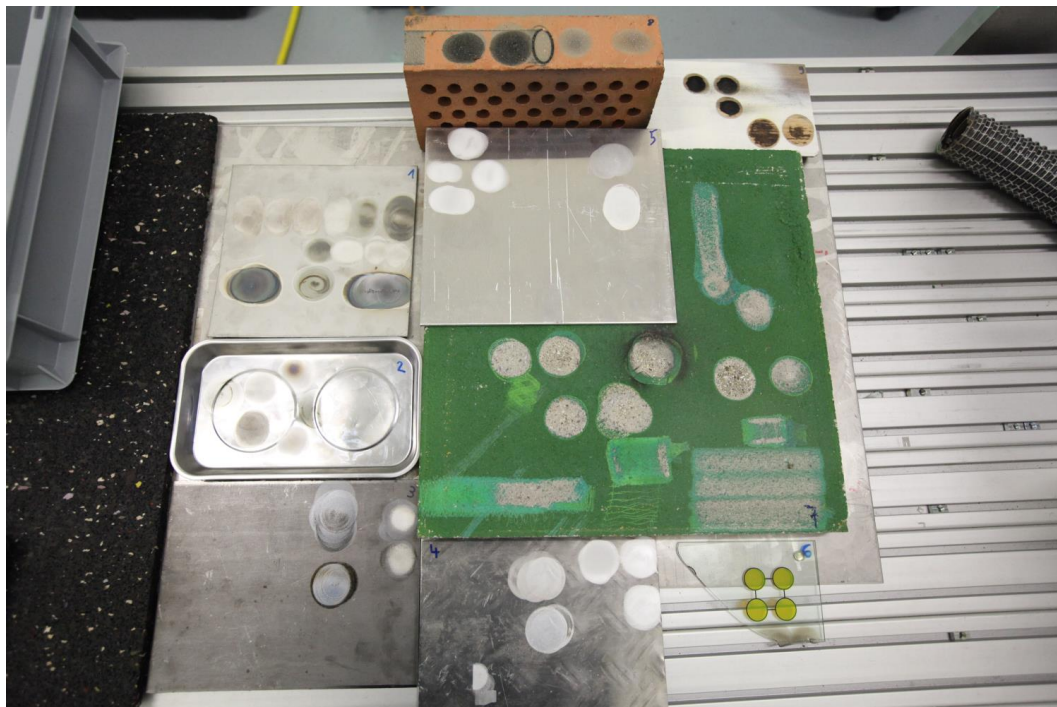


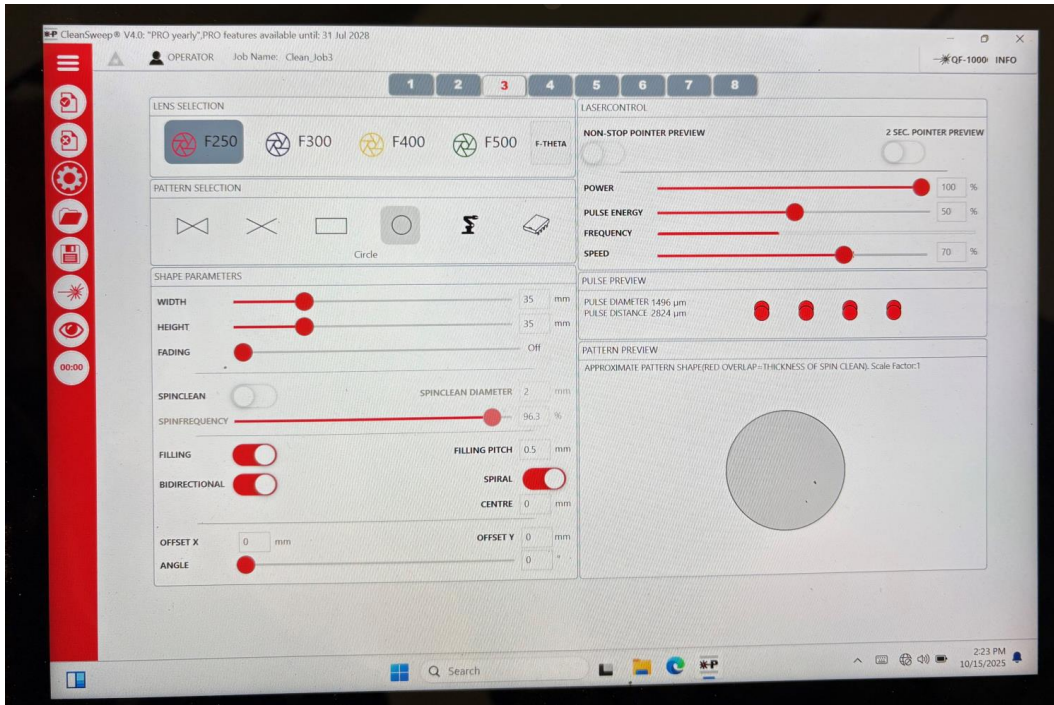
Figure 4: matériaux utilisés pour les essais (1 à 9)

Voici une description des matériaux utilisés pour les essais:

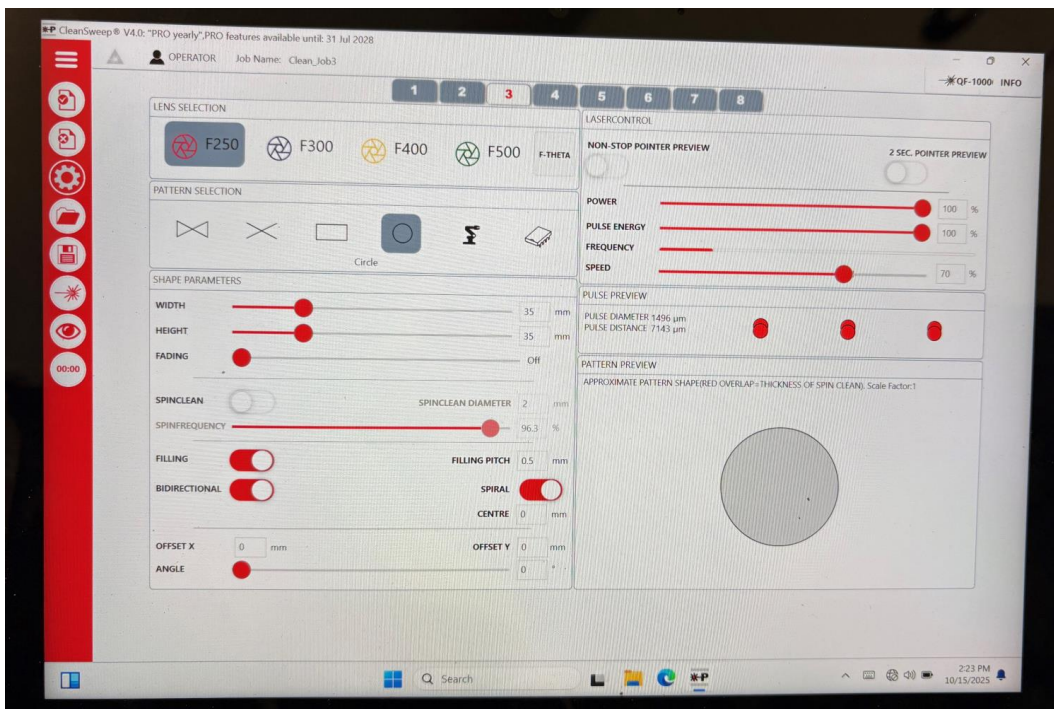
N° de matériau	Matériau	Description
1	Acier inoxydable	Mat
2	Acier au chrome	Brillant
3	Acier	ST37
4	Aluminium	Mat
5	Aluminium	Poli
6	Verre	Clair
7	Béton	Peint
8	Brique	Non enduit
9	Bois	Vernis

Rapport d'essai No 2025-011119

Les illustrations suivantes montrent les réglages pendant les essais.



Réglage de l'appareil d'essai 2, 50 %



Réglage de l'appareil d'essai 2, 100 %

Rapport d'essai No 2025-011119

3. Conditions de l'essai

Les essais sont réalisés auprès de l'entreprise P-Laser GmbH Sàrl, Äussere Heizenbergstrasse 4, CH-7430 Thusis.

4. Résultats de l'essai

Pour évaluer le potentiel de danger, on évalue le danger le plus important, qui dépend du type d'évaluation concerné:

- Pour l'évaluation du danger pour les yeux, ce sont les puissances moyennes qui sont prises en compte.
- Pour l'évaluation du danger pour la peau, ce sont les puissances moyennes qui sont pertinentes.

Rapport d'essai No 2025-011119

4.1 Matériau 1: acier inoxydable

4.1.1 Appareil d'essai 1, puissance moyenne 100 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max} , W	Durée d'impulsion t_p , ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO} , m
20	48	299	500 000	3650	3,6	20,8
50	155	77	200 000	1212	3,1	11,8
100	194	38	100 000	375	2,6	6,42

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau} , W	Durée d'impulsion t_p , s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau} , m
20	7,18	10	75	1,34
50	2,39	10	25	0,70
100	0,73	10	8	0,31

Évaluation des dangers pour la peau

4.1.2 Appareil d'essai 2, puissance moyenne 1000 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max} , W	Durée d'impulsion t_p , ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO} , m
50	1110	154	20 000	1740	3,2	14,2
100	1530	94	10 000	731	2,9	9,11

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau} , W	Durée d'impulsion t_p , s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau} , m
50	3,42	10	35,5	0,87
100	1,44	10	14,9	0,50

Évaluation des dangers pour la peau

Rapport d'essai No 2025-011119

4.2 Matériau 2: acier au chrome

4.2.1 Appareil d'essai 1, puissance moyenne 100 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max} , W	Durée d'impulsion t_p , ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO} , m
50	200	197	200 000	4000	3,6	21,8
100	188	34	100 000	324	2,5	6,0

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau} , W	Durée d'impulsion t_p , s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau} , m
50	7,9	10	81,9	1,4
100	0,64	10	6,6	0,3

Évaluation des dangers pour la peau

4.2.2 Appareil d'essai 2, puissance moyenne 1000 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max} , W	Durée d'impulsion t_p , ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO} , m
50	2120	96	20 000	2068	3,3	15,6
100	3540	98	10 000	1763	3,2	14,3

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau} , W	Durée d'impulsion t_p , s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau} , m
50	4,1	10	42	0,96
100	3,5	10	36	0,88

Évaluation des dangers pour la peau

Rapport d'essai No 2025-011119

4.3 Matériau 3: acier

4.3.1 Appareil d'essai 1, puissance moyenne 100 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max} , W	Durée d'impulsion t_p , ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, $f_{facteurEMP}$	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO} , m
50	15	117	200 000	178	2,3	4,3
100	17	187	100 000	162	2,2	4,0

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau} , W	Durée d'impulsion t_p , s	Dépassement des EMP, $f_{facteurEMP}$	Distance de danger pour la peau, d_{peau} , m
50	0,35	10	3,6	0,16
100	0,32	10	3,3	0,14

Évaluation des dangers pour la peau

4.3.2 Appareil d'essai 2, puissance moyenne 1000 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max} , W	Durée d'impulsion t_p , ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, $f_{facteurEMP}$	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO} , m
50	620	70	20 000	441	2,6	7,00
100	950	39	10 000	188	2,3	4,45

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau} , W	Durée d'impulsion t_p , s	Dépassement des EMP, $f_{facteurEMP}$	Distance de danger pour la peau, d_{peau} , m
50	0,87	10	9,0	0,35
100	0,37	10	3,8	0,17

Évaluation des dangers pour la peau

Rapport d'essai No 2025-011119

4.4 Matériau 4: aluminium, mat

4.4.1 Appareil d'essai 1, puissance moyenne 100 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max} , W	Durée d'impulsion t_p , ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO} , m
50	78	41	200 000	325	2,5	6,0
100	192	37	100 000	360	2,6	6,3

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau} , W	Durée d'impulsion t_p , s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau} , m
50	0,64	10	6,6	0,28
100	0,71	10	7,4	0,30

Évaluation des dangers pour la peau

4.4.2 Appareil d'essai 2, puissance moyenne 1000 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max} , W	Durée d'impulsion t_p , ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO} , m
50	1390	71	20 000	1002	3,0	10,7
100	2200	102	10 000	1140	3,1	11,5

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau} , W	Durée d'impulsion t_p , s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau} , m
50	2,0	10	20,5	0,62
100	2,2	10	23,3	0,67

Évaluation des dangers pour la peau

Rapport d'essai No 2025-011119

4.5 Matériau 5: aluminium, poli

4.5.1 Appareil d'essai 1, puissance moyenne 100 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max} , W	Durée d'impulsion t_p , ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO} , m
50	155	223	200 000	3500	3,5	20,4
100	194	203	100 000	2001	3,3	15,3

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau} , W	Durée d'impulsion t_p , s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau} , m
50	6,9	10	71,9	1,31
100	3,9	10	40,9	0,94

Évaluation des dangers pour la peau

4.5.2 Appareil d'essai 2, puissance moyenne 1000 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max} , W	Durée d'impulsion t_p , ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO} , m
50	2470	76	20 000	1908	3,3	14,9
100	3570	93	10 000	1687	3,2	14,0

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau} / W	Durée d'impulsion t_p / s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau} / m
50	3,8	10	39	0,92
100	3,3	10	34	0,85

Évaluation des dangers pour la peau

Rapport d'essai No 2025-011119

4.6 Matériau 6: verre

4.6.1 Appareil d'essai 1, puissance moyenne 100 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max}, W	Durée d'impulsion t_p, ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO}, m
50	105	237	200 000	2530	3,4	17,3
100	149	179	100 000	1355	3,1	12,5

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau}, W	Durée d'impulsion t_p, s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau}, m
50	5,0	10	52	1,10
100	2,7	10	28	0,75

Évaluation des dangers pour la peau

4.6.2 Appareil d'essai 2, puissance moyenne 1000 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max}, W	Durée d'impulsion t_p, ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO}, m
50	350	89	20 000	317	2,5	5,88
100	550	99	10 000	277	2,4	5,47

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau}, W	Durée d'impulsion t_p, s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau}, m
50	0,62	10	6,5	0,27
100	0,54	10	5,7	0,24

Évaluation des dangers pour la peau

Rapport d'essai No 2025-011119

4.7 Matériau 7: béton

4.7.1 Appareil d'essai 1, puissance moyenne 100 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max}, W	Durée d'impulsion t_p, ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO}, m
50	5,0	251	200 000	128	2,1	3,61
100	5,5	71	100 000	20	1,3	1,21

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau}, W	Durée d'impulsion t_p, s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau}, m
50	0,25	10	2,6	0,2
100	0,04	10	0,4	0,1

Évaluation des dangers pour la peau

4.7.2 Appareil d'essai 2, puissance moyenne 1000 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max}, W	Durée d'impulsion t_p, ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO}, m
50	106	98	20 000	106	2,0	3,25
100	147	94	10 000	70	1,8	2,58

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau}, W	Durée d'impulsion t_p, s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau}, m
50	0,21	10	2,2	0,2
100	0,14	10	1,4	0,1

Évaluation des dangers pour la peau

Rapport d'essai No 2025-011119

4.8 Matériau 8: brique

4.8.1 Appareil d'essai 1, puissance moyenne 100 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max}, W	Durée d'impulsion t_p, ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO}, m
50	4,1	78	200 000	32	1,5	1,64
100	3,7	102	100 000	19	1,3	1,19

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau}, W	Durée d'impulsion t_p, s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau}, m
50	0,06	10	0,7	0,1
100	0,04	10	0,4	0,1

Évaluation des dangers pour la peau

4.8.2 Appareil d'essai 2, puissance moyenne 1000 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max}, W	Durée d'impulsion t_p, ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO}, m
50	138	90	20 000	126	2,1	3,58
100	185	98	10 000	92	2,0	3,01

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau}, W	Durée d'impulsion t_p, s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau}, m
50	0,25	10	2,6	0,2
100	0,18	10	1,9	0,1

Évaluation des dangers pour la peau

Rapport d'essai No 2025-011119

4.9 Matériau 9: bois

4.9.1 Appareil d'essai 1, puissance moyenne 100 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max}, W	Durée d'impulsion t_p, ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO}, m
50	4,2	222	200 000	96	2,0	3,07
100	7,3	130	100 000	48	1,7	2,07

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau}, W	Durée d'impulsion t_p, s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau}, m
50	0,19	10	2,0	0,2
100	0,09	10	1,0	0,1

Évaluation des dangers pour la peau

4.9.2 Appareil d'essai 2, puissance moyenne 1000 W

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance max. P_{max}, W	Durée d'impulsion t_p, ns	Fréquence de répétition, Hz	Dépassement des EMP, facteurEMP	Densité optique requise, DO	DNDO d_{DNDO}, m
50	91	85	20 000	79	1,9	2,75
100	240	68	10 000	83	1,9	2,84

Évaluation des dangers oculaires

Énergie d'impulsion de l'appareil en %	Puissance moyenne P_{peau}, W	Durée d'impulsion t_p, s	Dépassement des EMP, facteurEMP	Distance de danger pour la peau, d_{peau}, m
50	0,15	10	1,6	0,1
100	0,16	10	1,7	0,2

Évaluation des dangers pour la peau

5. Évaluation des dangers

Les appareils à laser de classe 4 sont des appareils pour lesquels la vision dans le faisceau est normalement dangereuse, y compris en cas d'exposition accidentelle. Selon la norme laser, le rayonnement laser est dangereux pour les yeux non protégés à l'intérieur de la distance de sécurité (DNDO). La valeur limite pour la peau est dépassée dans la «distance de danger pour la peau».

En général, la peau peut supporter une exposition à l'énergie du faisceau laser nettement plus grande que l'œil.

Une zone de danger laser est une zone dans laquelle l'exposition de l'œil ou de la peau excède les niveaux d'exposition maximale permise (EMP). Afin d'éviter les confusions, il convient d'indiquer l'EMP appropriée – œil ou peau. Dans la zone de danger laser, il faut porter un équipement de protection individuelle suffisant afin d'éviter tout danger pour les yeux ou la peau.

6. Incertitude de mesure

Puissance optique	$U = 0,08 \cdot P_{\max}$
Durée d'impulsion	$U = 0,01 \cdot t_p$
EMP	$U = 0,10 \cdot \text{EMP}$
DO	$U = 0,2$
DNDO	$U = 0.25 \cdot d_{\text{DNDO}}$
Distance de danger pour la peau	$U = 0,25 \cdot d_{\text{peau}}$

L'incertitude de mesure indiquée est obtenue en multipliant l'incertitude-type composée par un facteur d'élargissement $k = 2$. La valeur mesurée (y) et son incertitude élargie (U) définissent le domaine ($y \pm U$) dans lequel la valeur de la grandeur mesurée se trouve avec une probabilité d'environ 95 %.