

Concepts modernes pour le perçage laser YAG thermique

VTS_02_1_WMV V9_001.wmv

Michel NORMANDON, Ulrich DUERR, David NAMAN

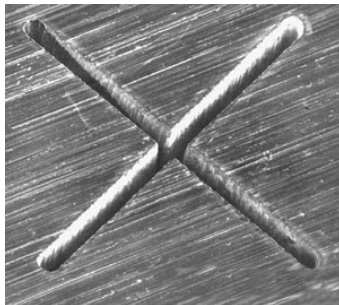
LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE **SWATCH GROUP**

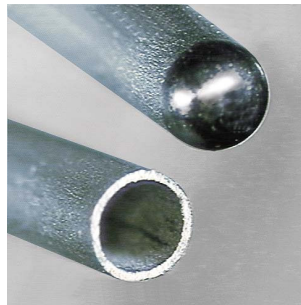
LASAG – L'entreprise



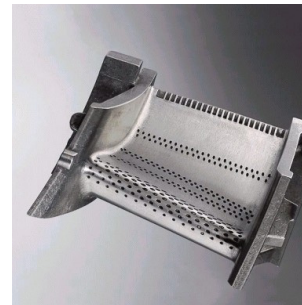
Thun, Suisse



Découpe



Soudage



Perçage



Amorçage

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

LASAG – Les sources laser Nd:YAG



SLS
5 à 220 W



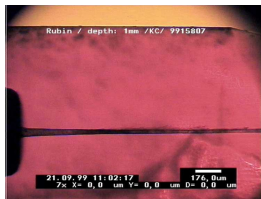
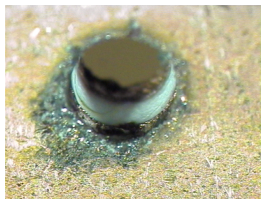
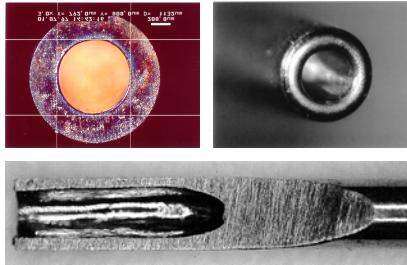
KLS
15 à 250 W



FLS
100 à 1000 W

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

Caractérisation du Perçage Laser

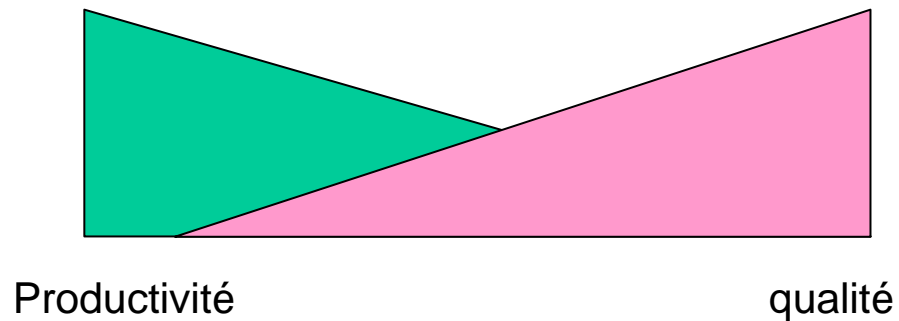


1. Aspect Qualitatif

- Géométrie (\varnothing , prof., circ.,...)
- Métallurgie
- Tolérance

2. Aspect financier

- Efficacité
- Productivité
- Investissement
- Coût de fonctionnement

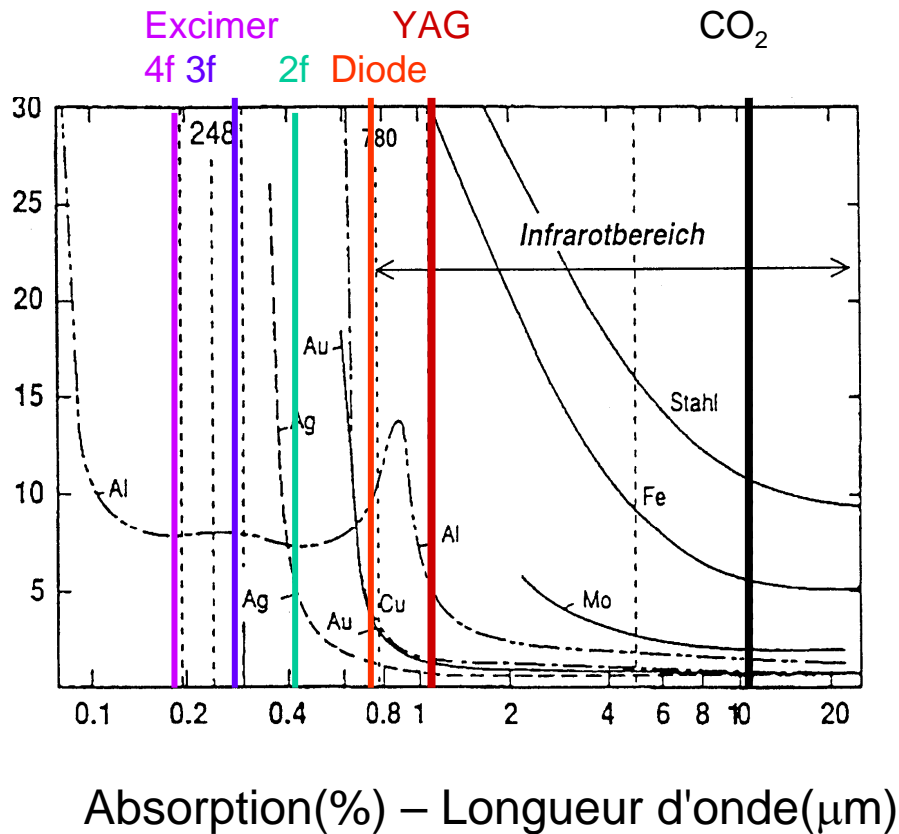


LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE **SWATCH GROUP**

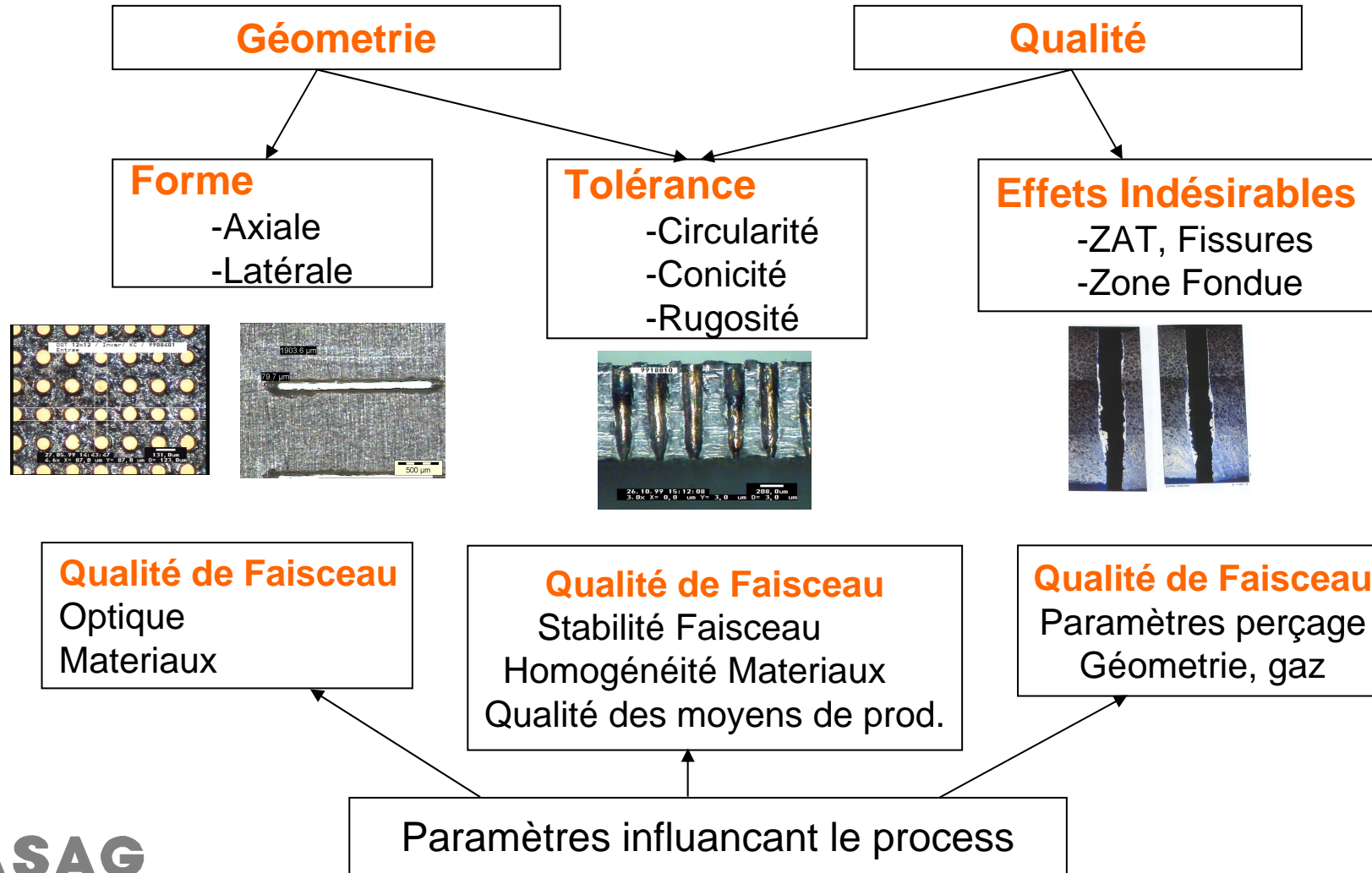
Quel faisceau pour quel matériau ?

Comparatif entre les différents types de lasers existants



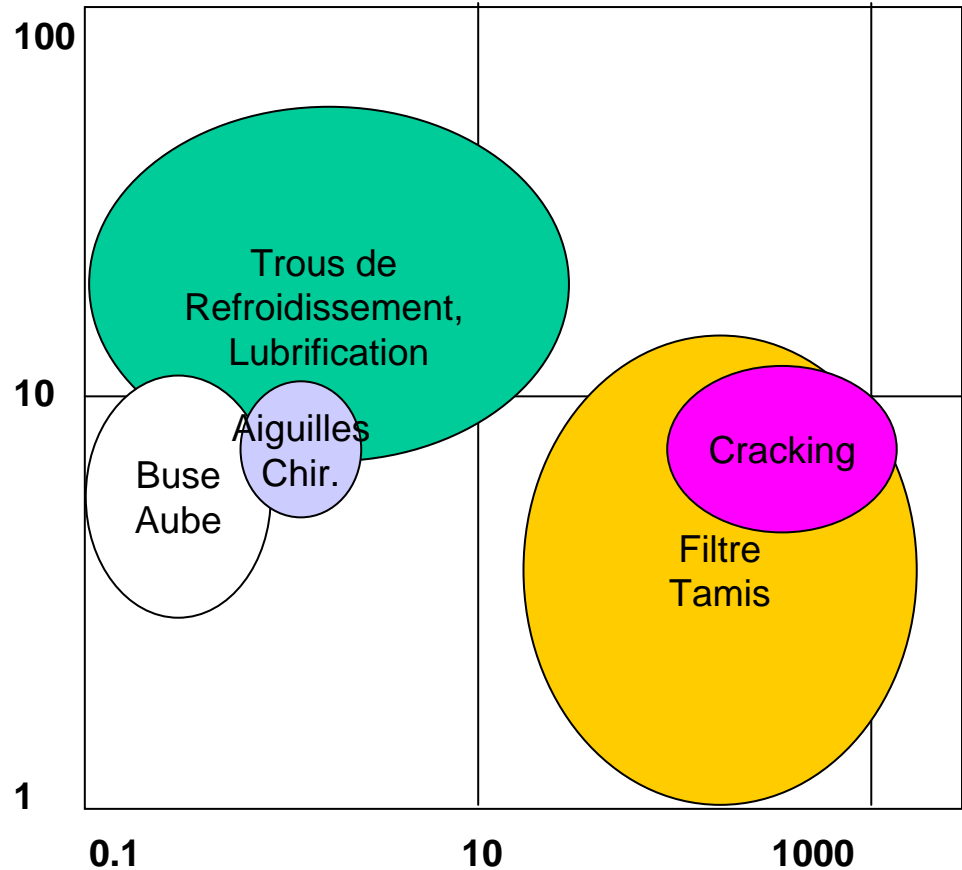
	CO ₂	Diode	YAG pulsé	Excimer
Ablation	-	-	*	+
Perçage	+	-	+	+Lent
Découpe	+	-	+	+Lent
Soudage	+	(+)	+	-
Matériaux				
Metaux Ferreux	+	+	+	+
Metaux Refractaire	0	0	+	+
Metaux Precieux	-	-	+	+
Metaux Dur	-	-	+	+
Ceramiques	+	-	+	+
Semi-conducteurs	(+)	-	(+)	+
Cristaux	0	0	0	+
Materiaux Organiques	+	-	0	+
Verre	-	-	0	+
Précision:				
0.1mm	+	+	+	+
0.01mm	-	-	+	+
0.001mm	-	-	-	+Masque
Rugosité (R _z)	+	0	+	-
Rugosité (R _z) 0.005	-	-	+	+
Rugosité (R _z) 0.0005	-	-	0	+
HAZ/ déformation 0.1	+	0	+	-
ZAT/ déformation 0.01	-	-	+	+
0.001	-	-	0	+
Transport de Faisceau	Miroir	Miroir Fibre	Miroir Fibre	Miroir

Perçage avec Laser YAG Pulsé

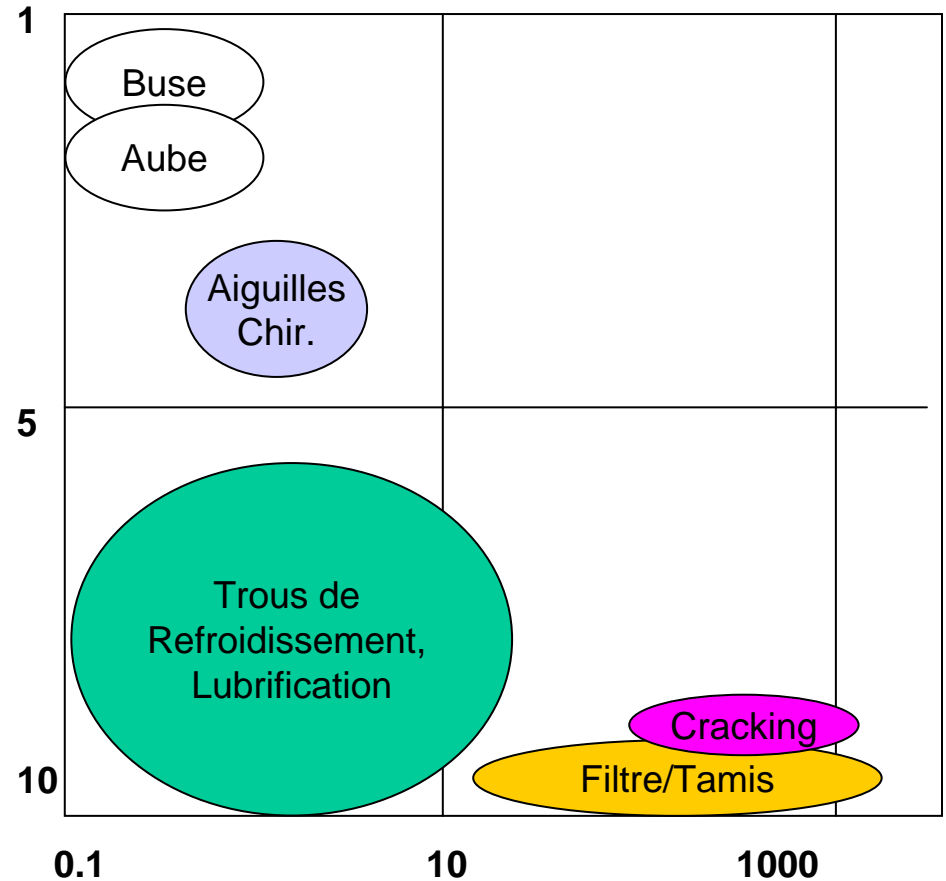


Marchés Typiques en Perçage YAG

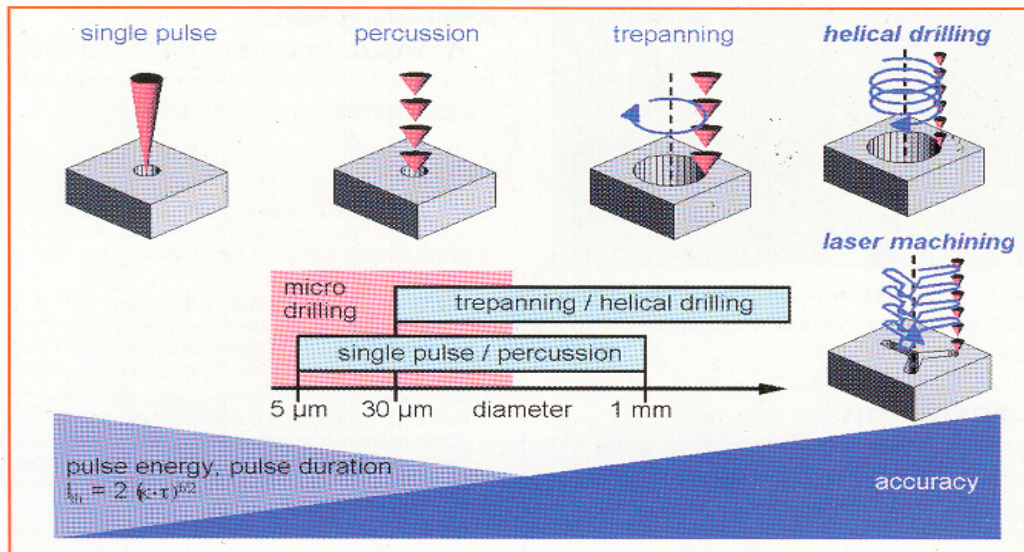
Facteur de forme (Profondeur/Diamètre)



Qualité (Tolérance géométrique (%))



Productivité (Nb. trous / sec.)

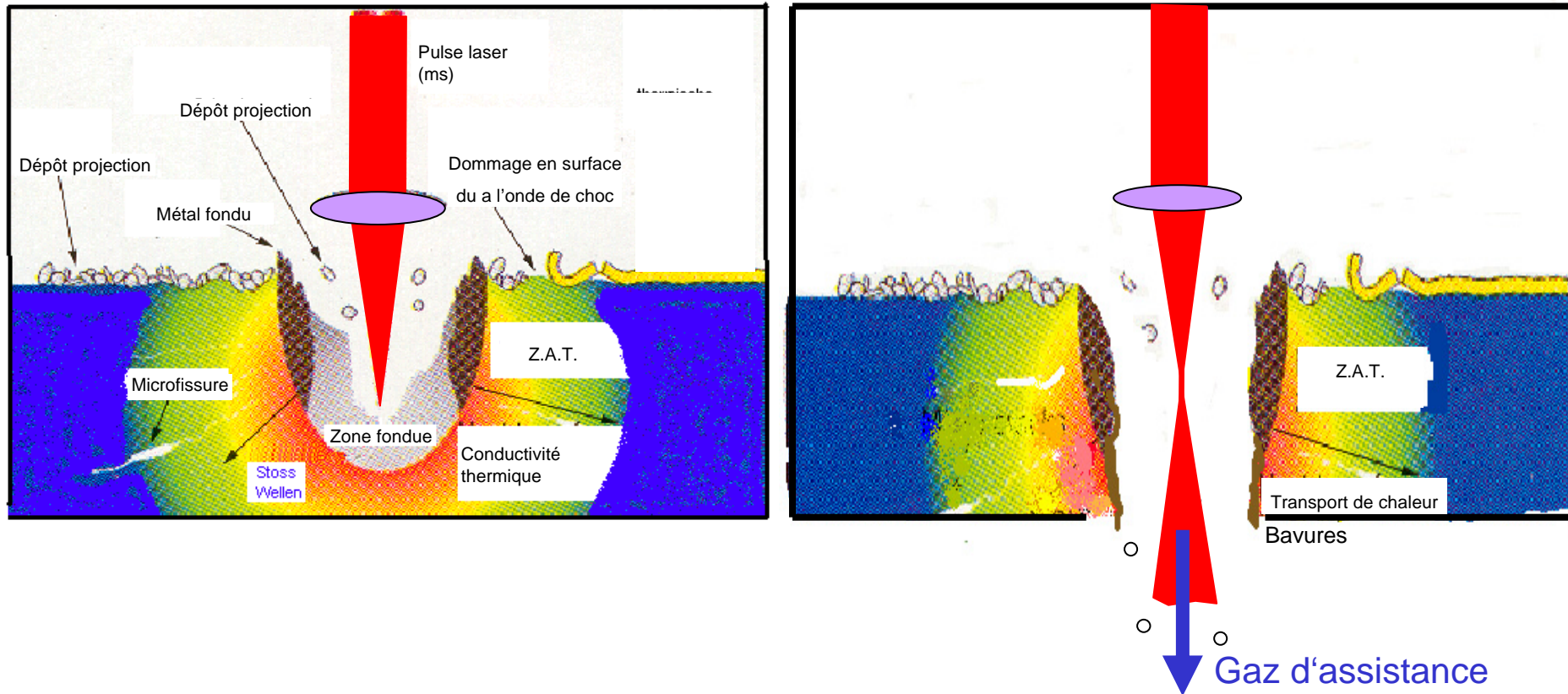


Stratégies de Perçage

Stratégie:	Tir unique	Percussion	Trépanation	Perçage Hélicoïdal
<u>Trou débouchant</u>				
Profondeur (mm)	mm	< 4 cm	< 15 mm	< 1 mm
Rapport (ø/Prof.)	< 15:1	< 200:1	<20:1	machine
Limite ø (mm)	0.02/1	0.015/1.5	0.08 / machine	0.08 / machine
<u>Trou borgne</u>				
Profondeur (mm)	mm	jusqu'à	-	-
Rapport (ø/Prof.)	<10:1	<40:1	-	-
Tolérance (%):	10-15	10	5-10	<5
Trous/s	<1000	1	<0.1	<0.1
		(ø = Diametre moyen , P = Profondeur de perçage)		

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

Nd:YAG (μs / Pulse): Procédé et effets collatéraux en Perçage

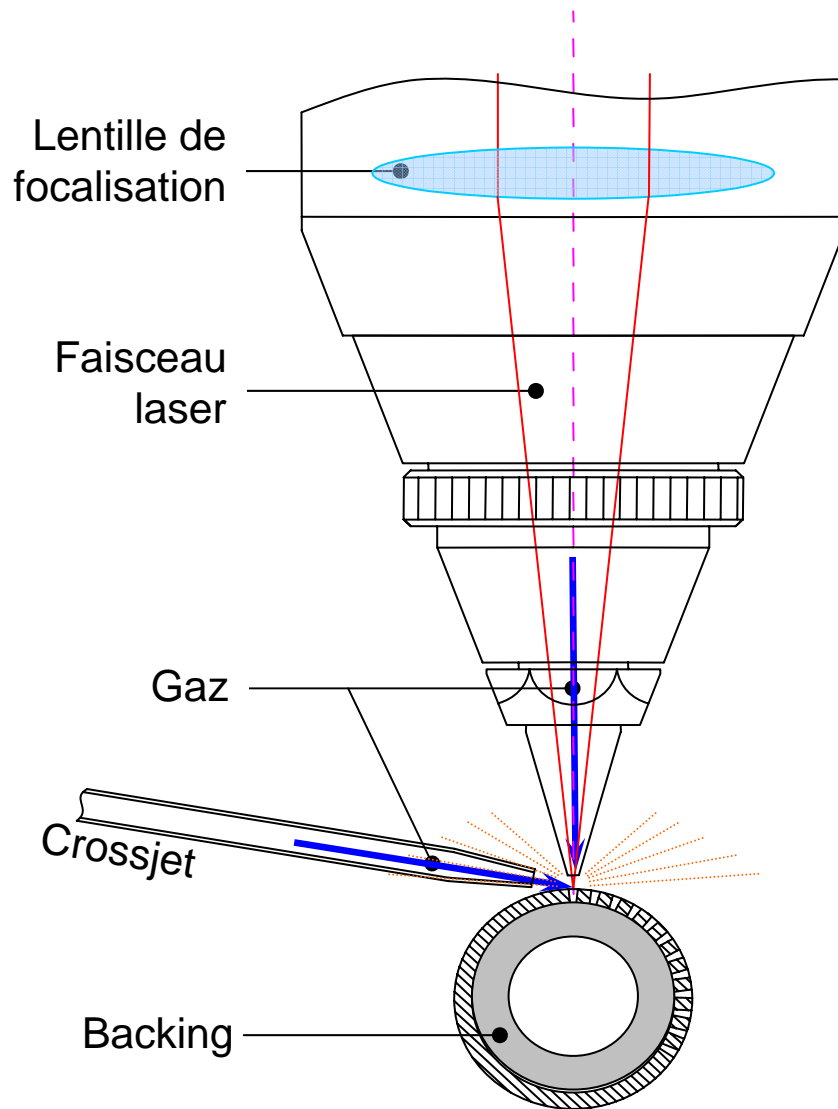


Intensité $10^6 - 10^8 \text{ W/cm}^2$

Fusion / Vaporisation du materiau absorbant

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

Paramètres Influançant le process



Faisceau Laser

Longueur d'onde (μm)
Puissance (W)
Intensité (W/cm^2)
Energie (J)
Durée d'impulsion (ms)
Qualité de faisceau (mm mrad)

Optique

Distance Focale
Qualité des optiques
Géométrie du faisceau

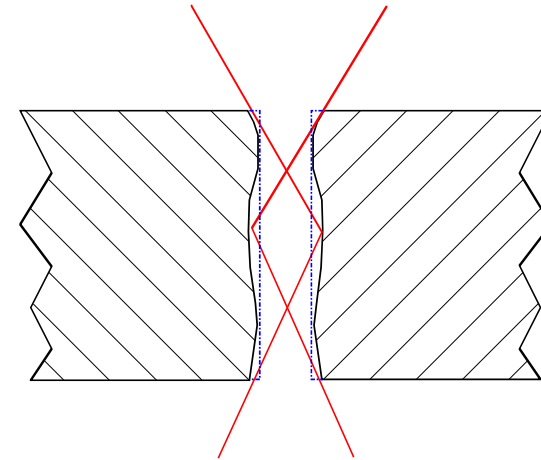
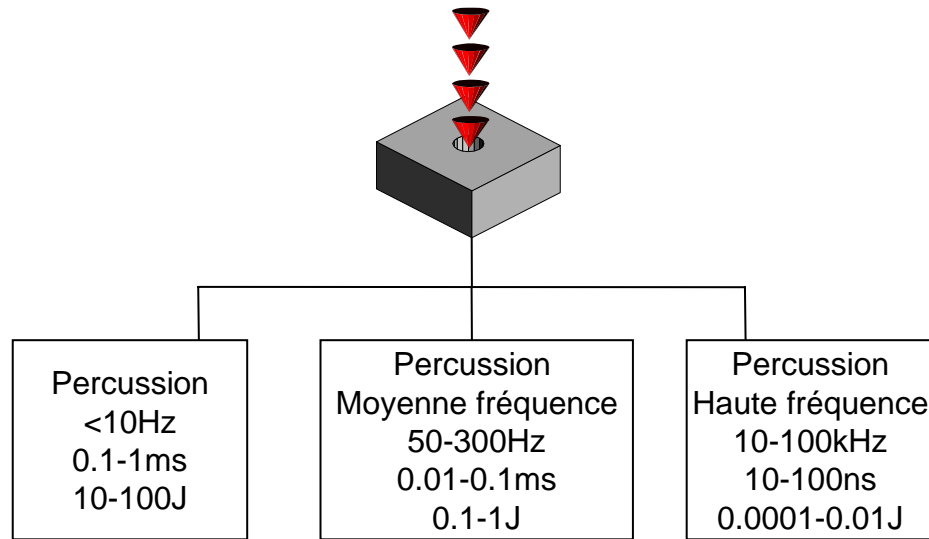
Gaz

Type / Pureté
Pression / Débit (Flux gazeux)
Distance buse/pièce

Materiaux

Surface, volume
Coefficient d'absorption
Epaisseur
Conductivité thermique
Temperature de fusion

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS



example:
stainless steel $d = 8\text{mm}$, aspect ratio = 90:1

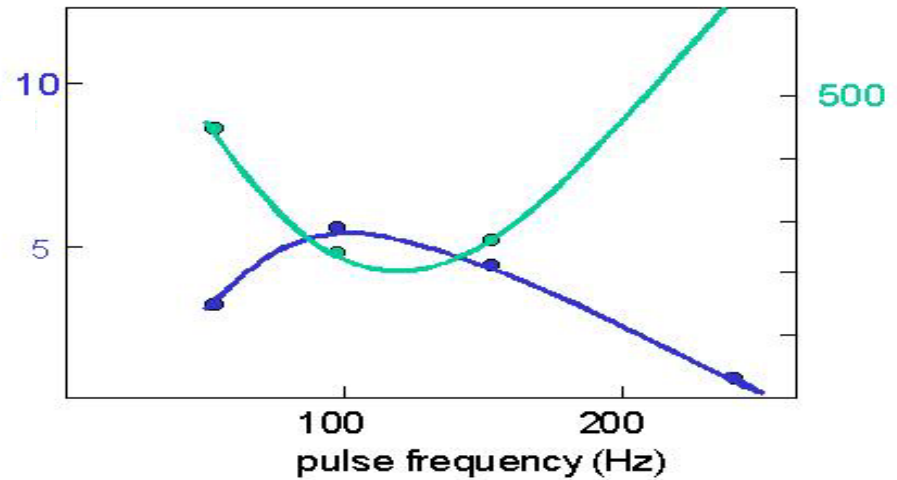
Stratégie :

Fréquence < 10 Hz

Fréquence > 50 Hz

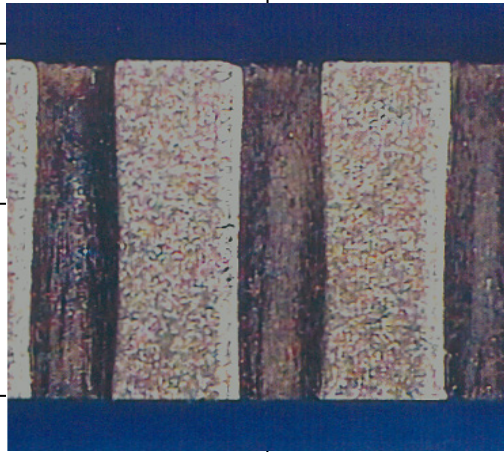
$\mu\text{m/pulse}$

drilling energie(J)



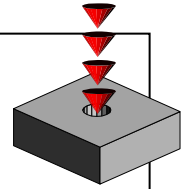
Temps de Perçage (s)

600
500
400
300
200
100
1



Ø trou => 1mm
Superaliage base Ni

PERCUSSION



<10s.

20s.

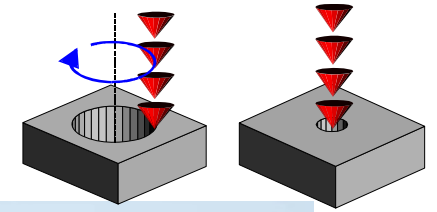
4min.

Profondeur (mm)

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE **SWATCH GROUP**

Pièces aéronautiques



Matériaux: Cristallins et Superalliages base Ni et Co

Profondeur: 1 - 18mm

Diamètre : 0.3 - 0.8mm

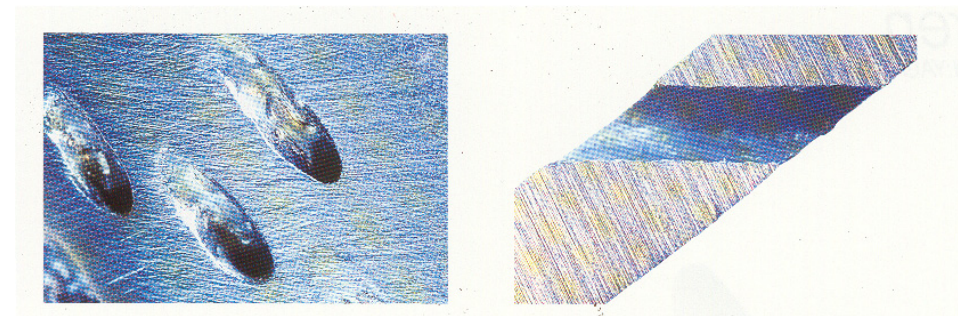
Limites du procédé:

Temps de perçage: 0.5-3 s/Trou

Z.A.T <0.2mm

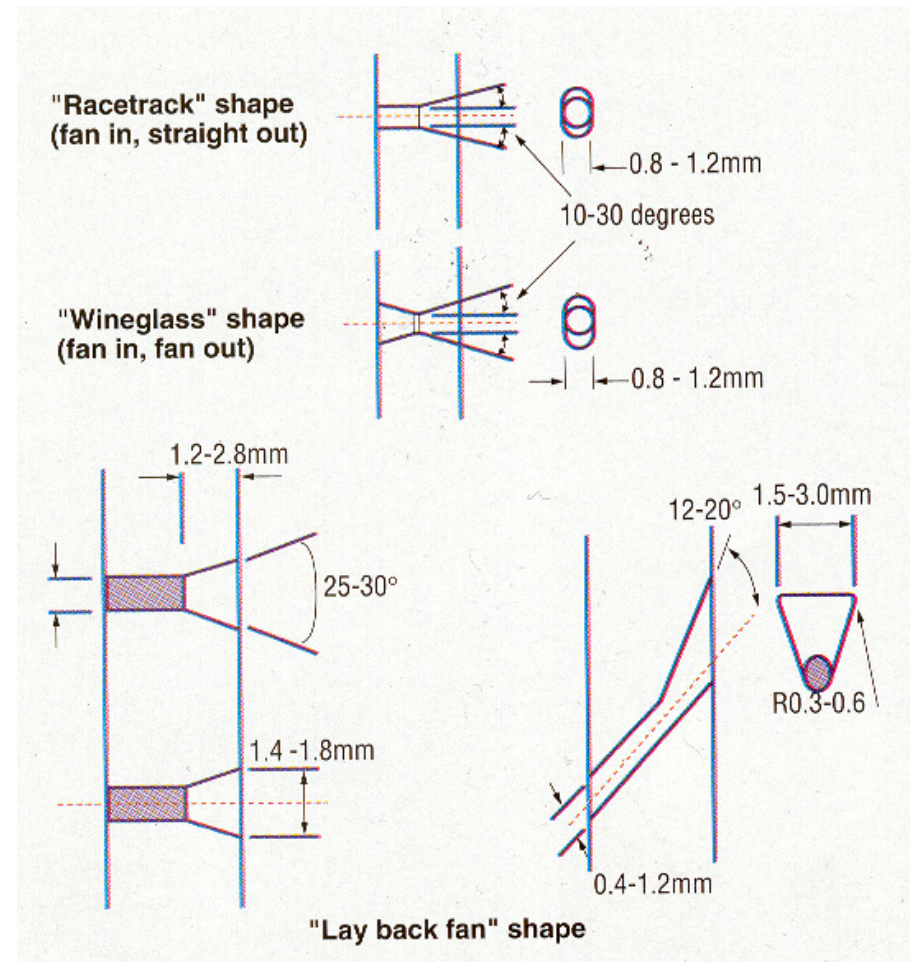
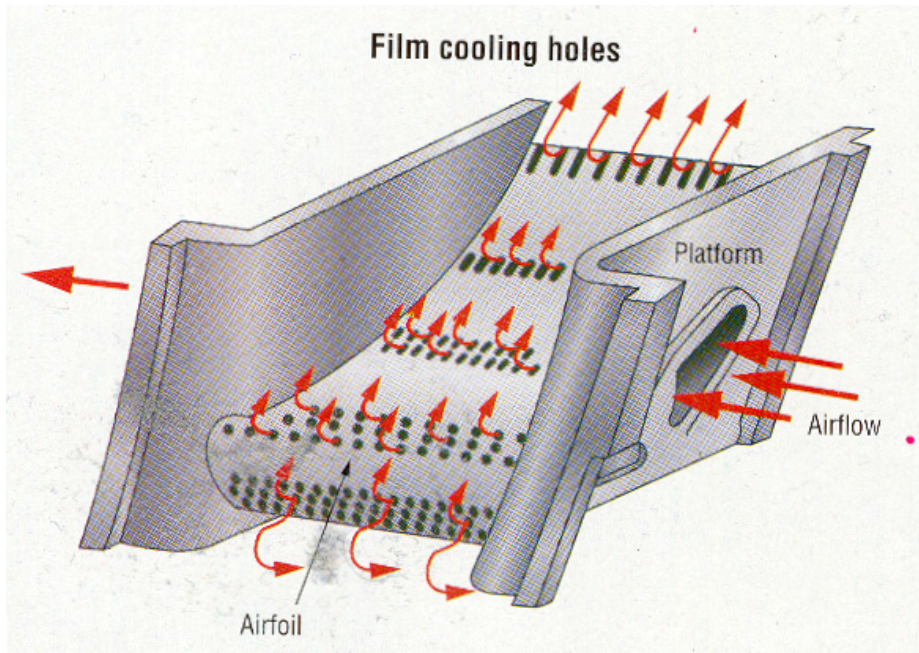
Perçage incliné jusqu'à 15°

Géométrie ajustable

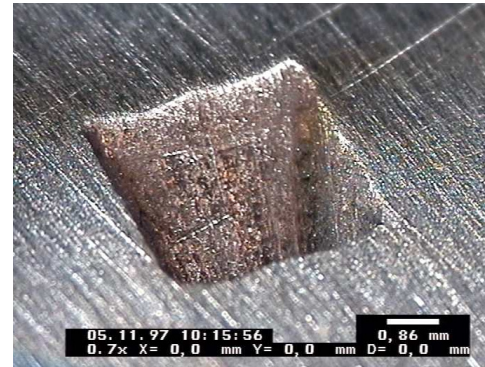
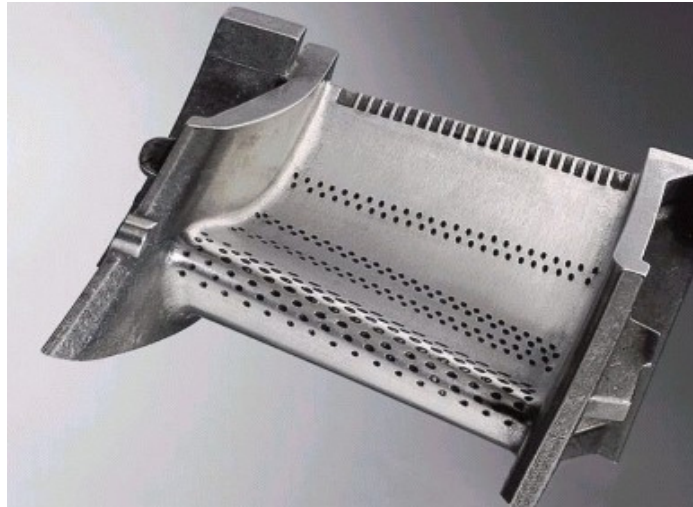


LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

Trous de forme sur aubes de turbines (Shaped Holes)



Aube de Turbine



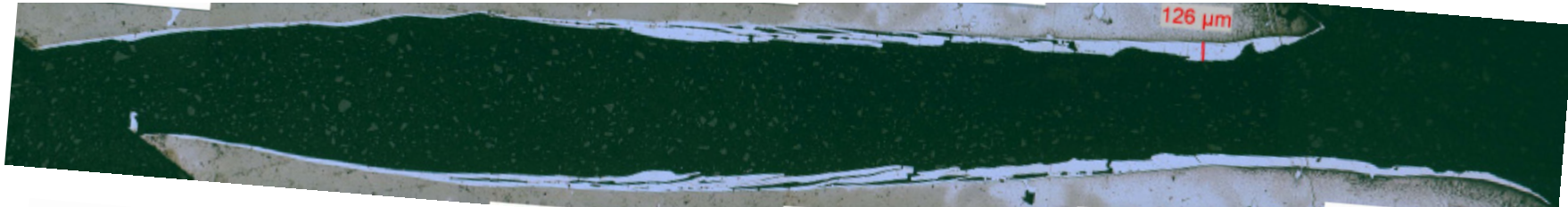
Matériaux: Superalliages base Ni et Co
Laser: **FLS 352**
Paramètres: 3 J
0.6 ms durée d'impulsion, 3 s/trou
specs: zone refondue, fissures, géométrie



LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

Problèmes typiques en perçage par percussion sur alliage base Ni

Ø0.6mm – Profondeur 9mm



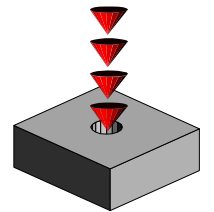
10Hz – 0.6ms – 12.5J – Télescope x2.8 => Géométrie, Sortie, Zone fondue, Délamination



6Hz – 1.45ms – 19.8J – Télescope x2.4

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE **SWATCH GROUP**

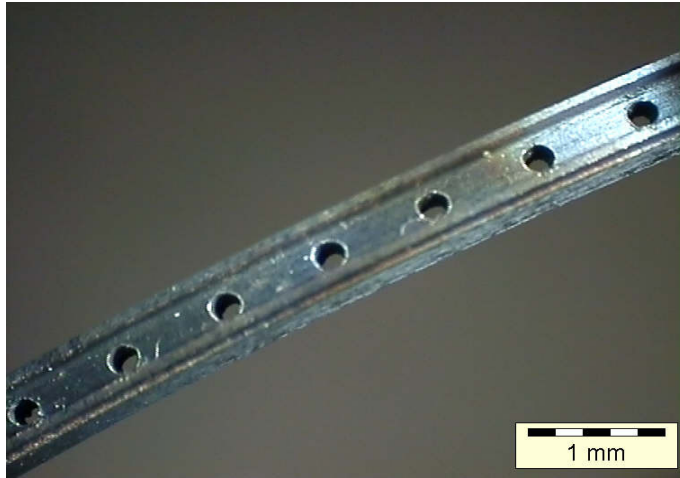
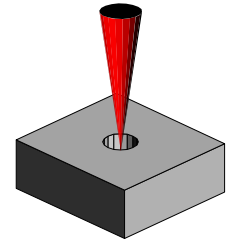




LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE **SWATCH GROUP**

Trous de lubrification – segments de pistons

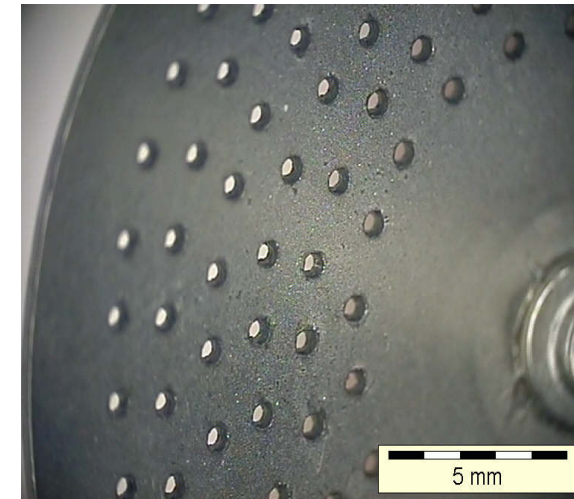
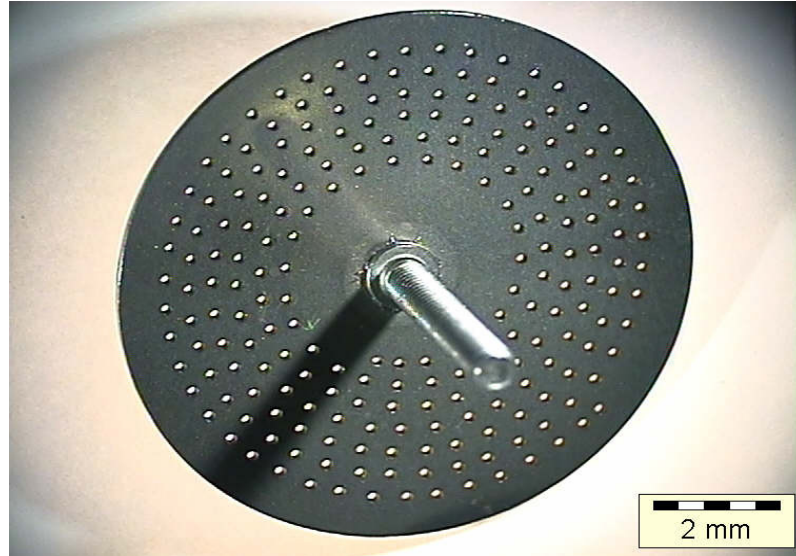
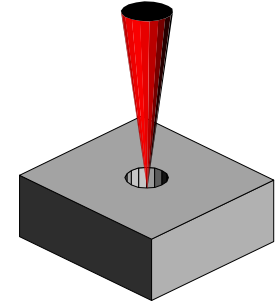


Matériau: Acier faiblement allié
Laser: FLS 552
Paramètres: 14 J Energie
0.6 ms durée d'impulsion
specs: 20 trou/s , $\varnothing 0.5$ mm
Epaisseur 1.5mm

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE  **SWATCH GROUP**

Filtre à café

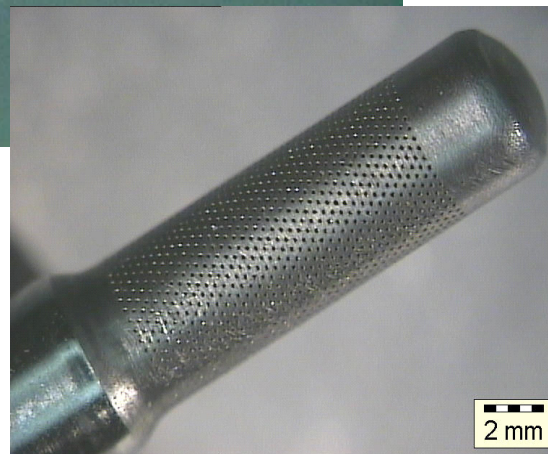
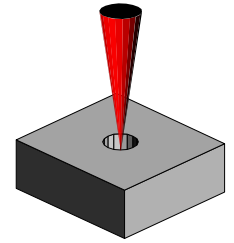


Matériau: Acier Inoxydable
Laser: **FLS 352**
Paramètres: 7.6 J
0.45 ms durée d'impulsion
specs: 28 trous/s , $\varnothing 0.4$ mm
Epaisseur 0.5mm

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE  **SWATCH GROUP**

Microperçage pour filtre à carburant



Laser: KLS 246

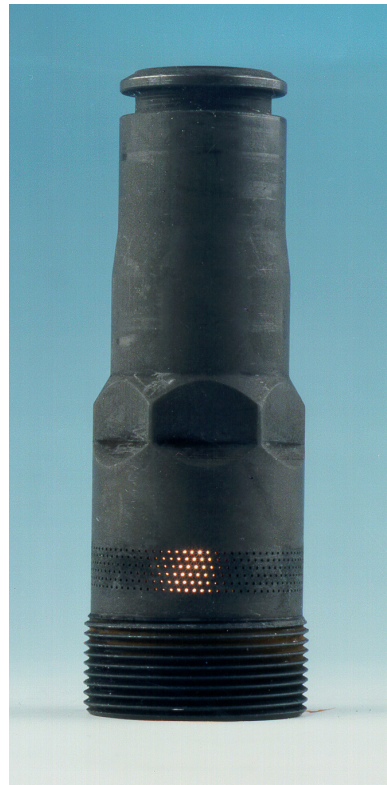
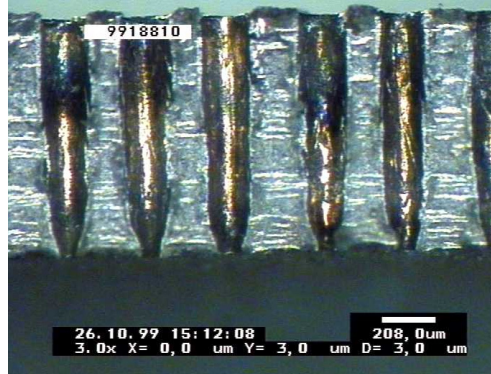
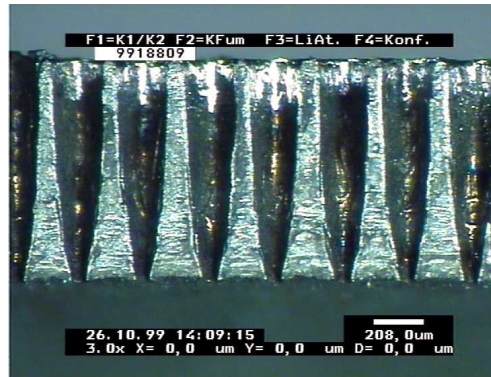
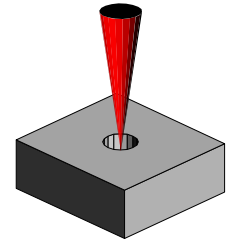
Matériau: 304L
Epaisseur : 0.5 mm

Paramètres Laser:
0.08 J / 0.1 ms
Frequence : 400 Hz

Géométrie:
Entrée : 0.08 mm
Sortie : 0.065 mm

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

Microperçage a la volée Bride d'injecteur



Source : Bosch GmbH

Laser: FLS 352
Matériau: Acier noir
Epaisseur : 0.95 mm

Paramètres Laser:
0.6 J / 0.19 ms

Paramètres process :
Frequence : 120 Hz

Géometrie:
Entrée : 0.2 mm
Sortie : 0.08 mm

LASAG
INDUSTRIAL-LASERS

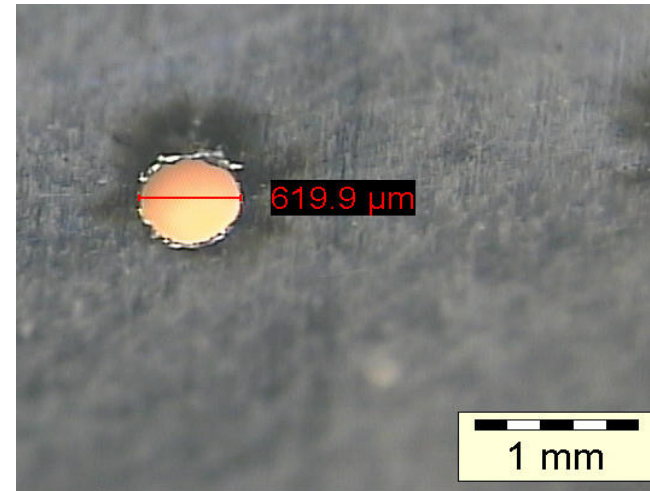
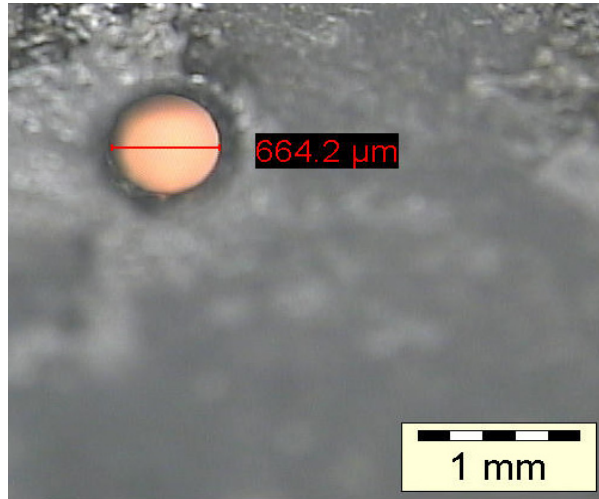
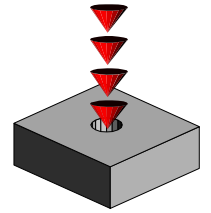
A COMPANY OF THE  **SWATCH GROUP**



LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE **SWATCH GROUP**

Moule de Fonderie

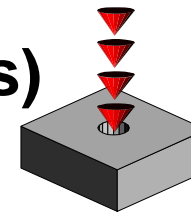


Matériaux: Aluminum
Laser: FLS 352
Parametres: 9.9 J
0.3 ms durée d'impulsion, 1.2 s/trou
Specs: 10 mm prof. , \varnothing 0.6 mm

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE  **SWATCH GROUP**

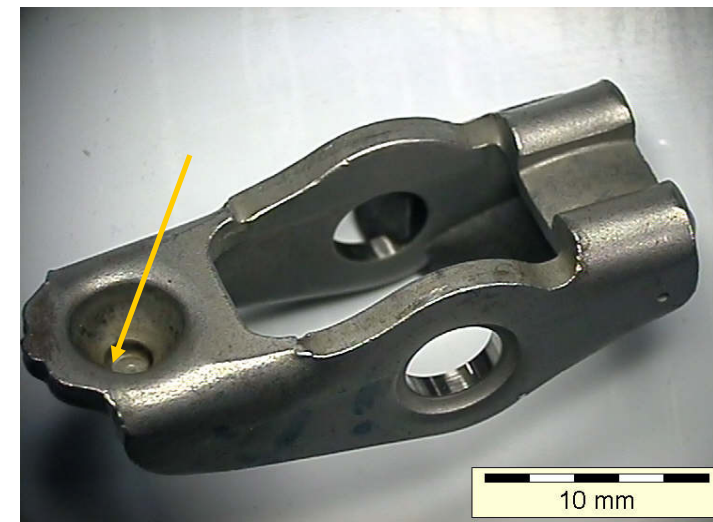
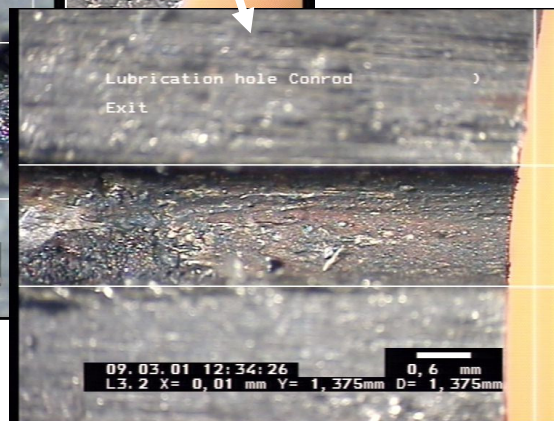
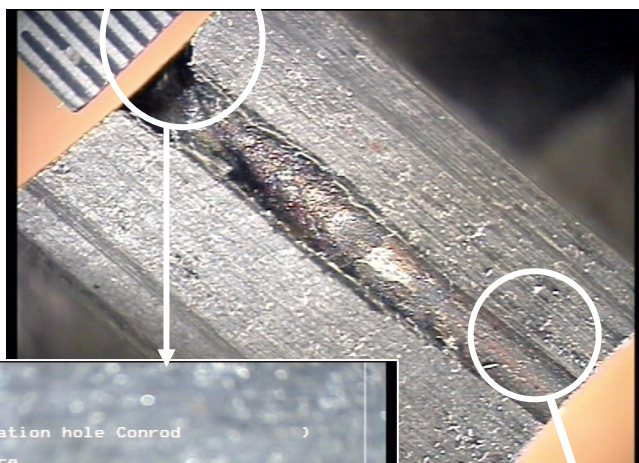
Trou de Lubrification (Bielle, Culbuteur, Arbre à cames)



Bielle FLS 652

Acier C70 Steel, épaisseur 12mm

Temps de perçage 6s – Diametre : 1.7 – 1,3mm



Culbuteur FLS 352

Acier faiblement allié

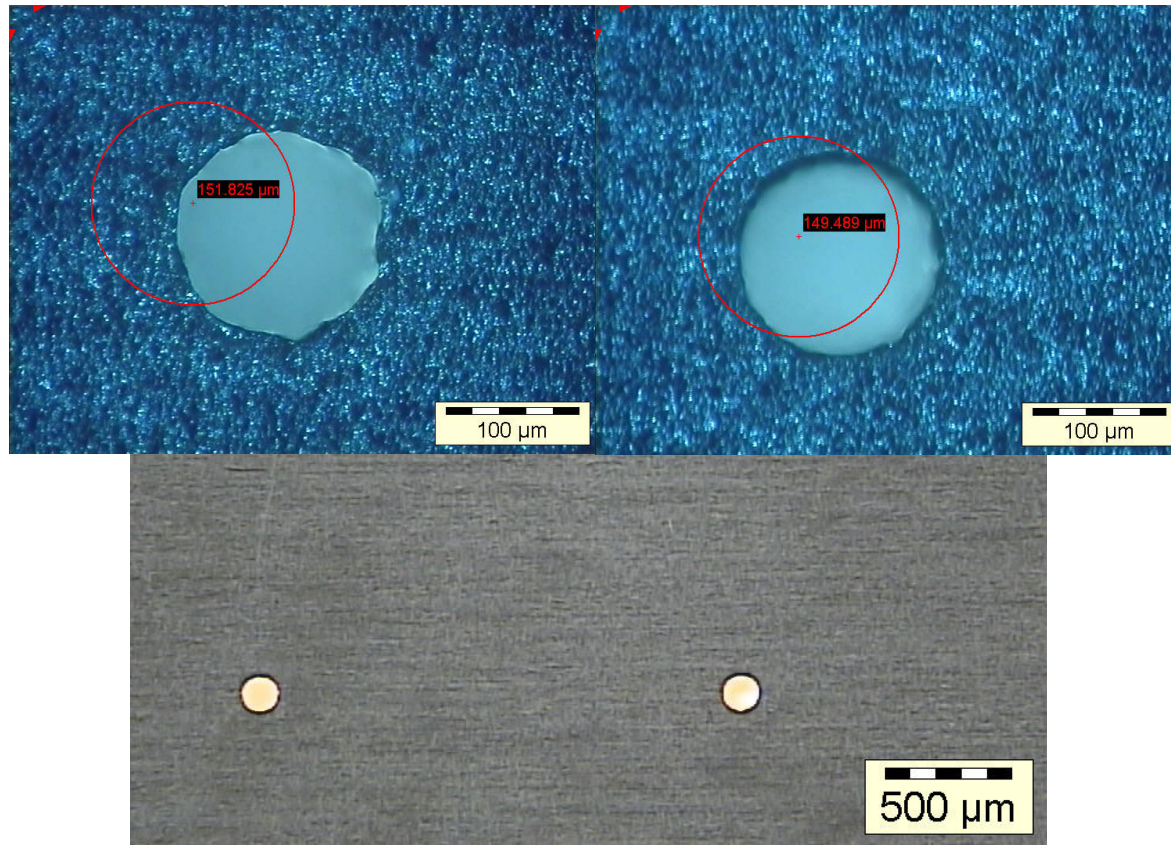
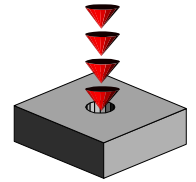
2.2 J - 0.4 ms

1s/trou – Diametre 0.3mm

Diametre, Reproductibilité, Bavures

LASAG
INDUSTRIAL-LASERS

Perçage pour palier de roulement



Laser: KLS 246

Matériaux: Inox
Epaisseur : 0.8 mm

Paramètres Laser:
0.05 J / 0.2 ms

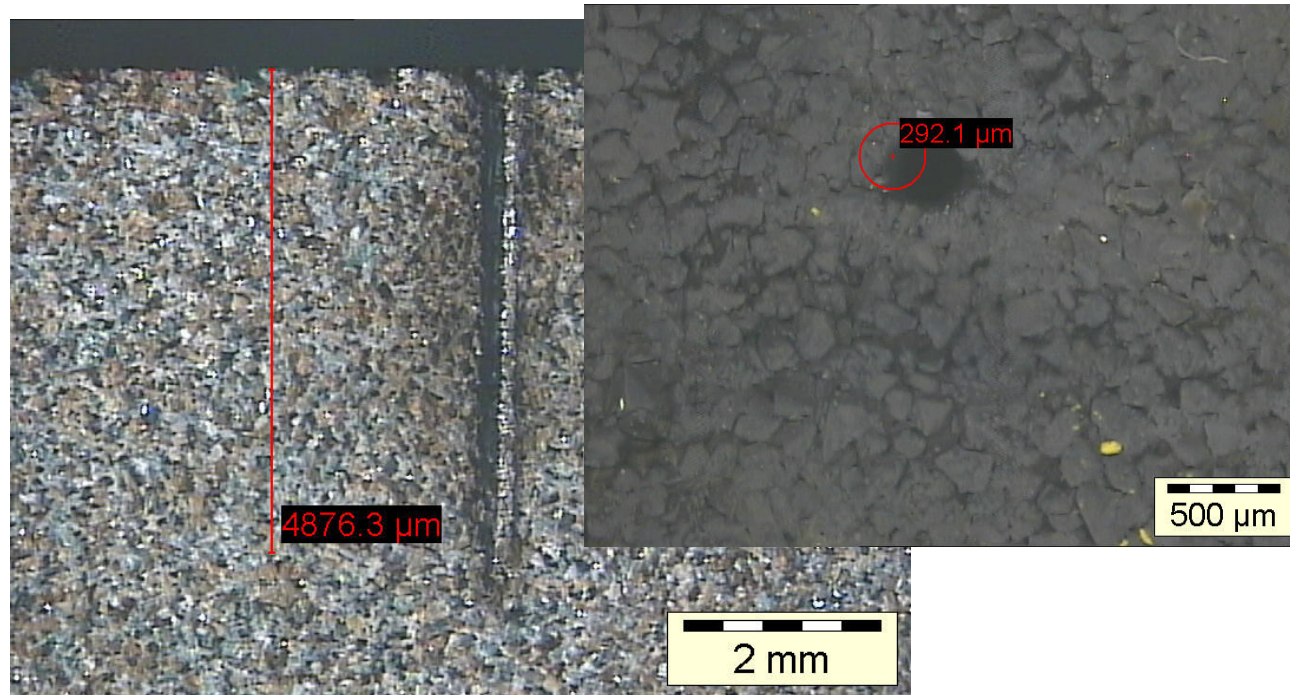
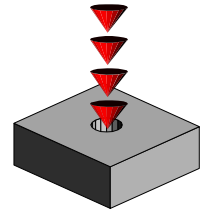
Paramètres process :
Frequence : 250 Hz

Géométrie:
Entrée : 0.150 mm
Sortie : 0.150 mm

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE **SWATCH GROUP**

Pierre Abrasive (CBN)



Laser: FLS 352

Matériau: Pierre abrasive
Epaisseur : 5 mm

Paramètres Laser :
2.1 J / 0.3 ms

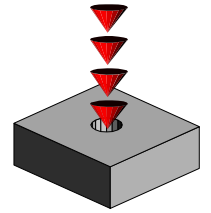
Paramètres Process :
Frequence : 100 Hz, He (diminution
du plasma)

Géométrie: Trou borgne
Entrée : 0.3 mm

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE  SWATCH GROUP

Pré-perçage métal dur (Hardmetal)



Laser: FLS 552

Matériau: Carbure de Tungstène
Epaisseur : 8 mm

Paramètres Laser :

2.1 J / 0.065 ms

Paramètres process:

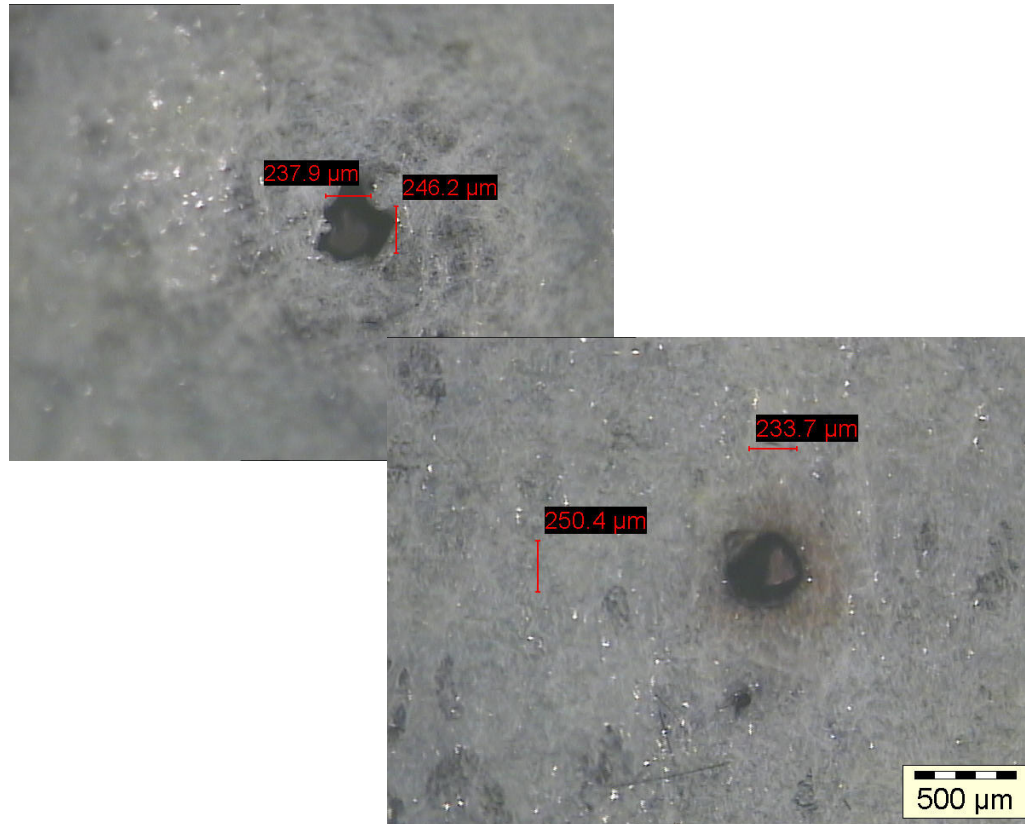
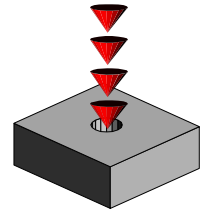
Frequence: 140 Hz, O2

Temps de perçage 30s

Géométrie:

Entrée / Sortie : 0.1 mm

Fibre de Carbone (avant densification)



Laser: FLS 352

Matériau: Fibre de Carbone
Epaisseur : 25 mm

Paramètres Laser :
2.9 J / 0.2 ms

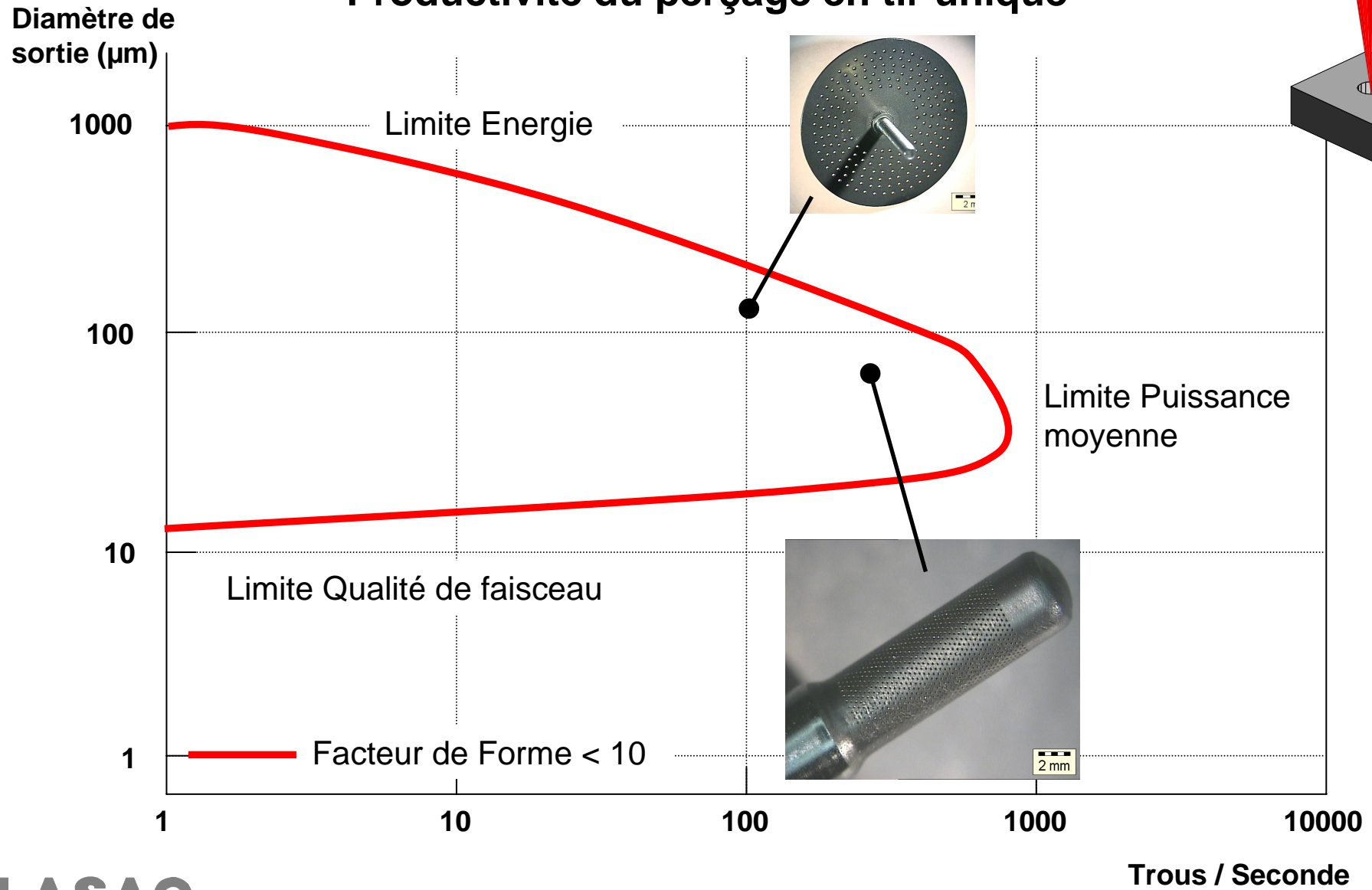
Paramètres process :
Frequence : 70 Hz, Air
Temps de perçage 0.8s

Géometrie:
Entrée /Sortie : 0.25 mm

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE  **SWATCH GROUP**

Productivité du perçage en tir unique

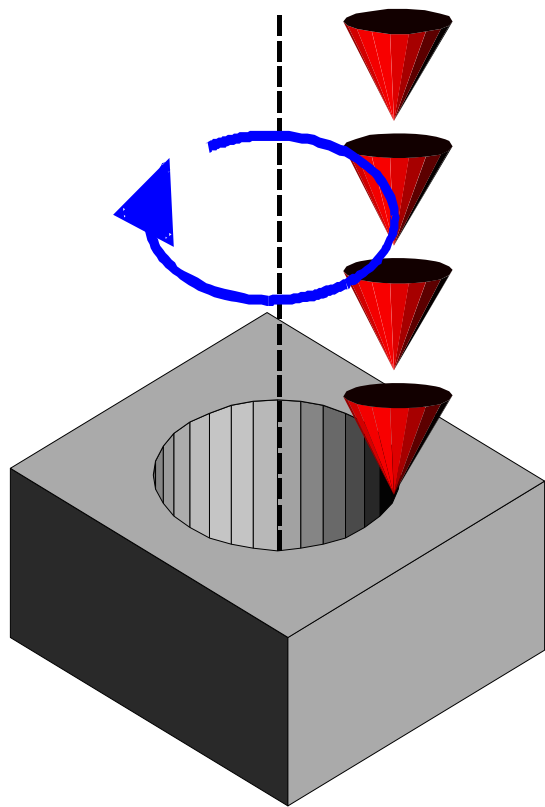


LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE **SWATCH GROUP**

PERCAGE PAR TREPANATION

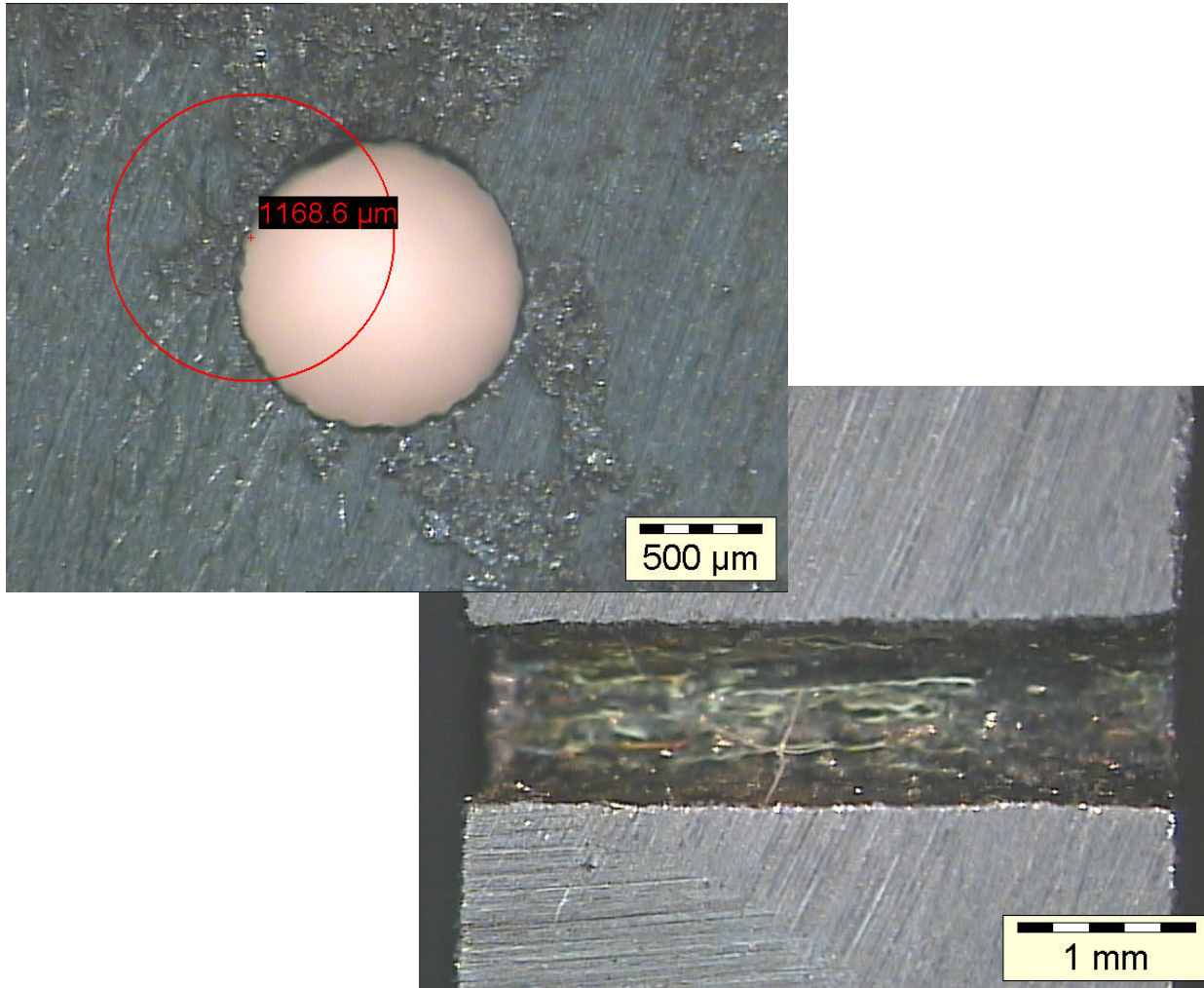
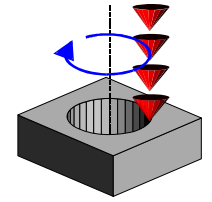
Déroutement du procédé



Le matériau est percé au centre du trou et le diamètre souhaité est réalisé à l'aide d'un mouvement de rotation de la pièce ou du faisceau.

Plusieurs tours peuvent être nécessaires.

Bus d'alimentation (Contacts électriques)



Laser: FLS 352

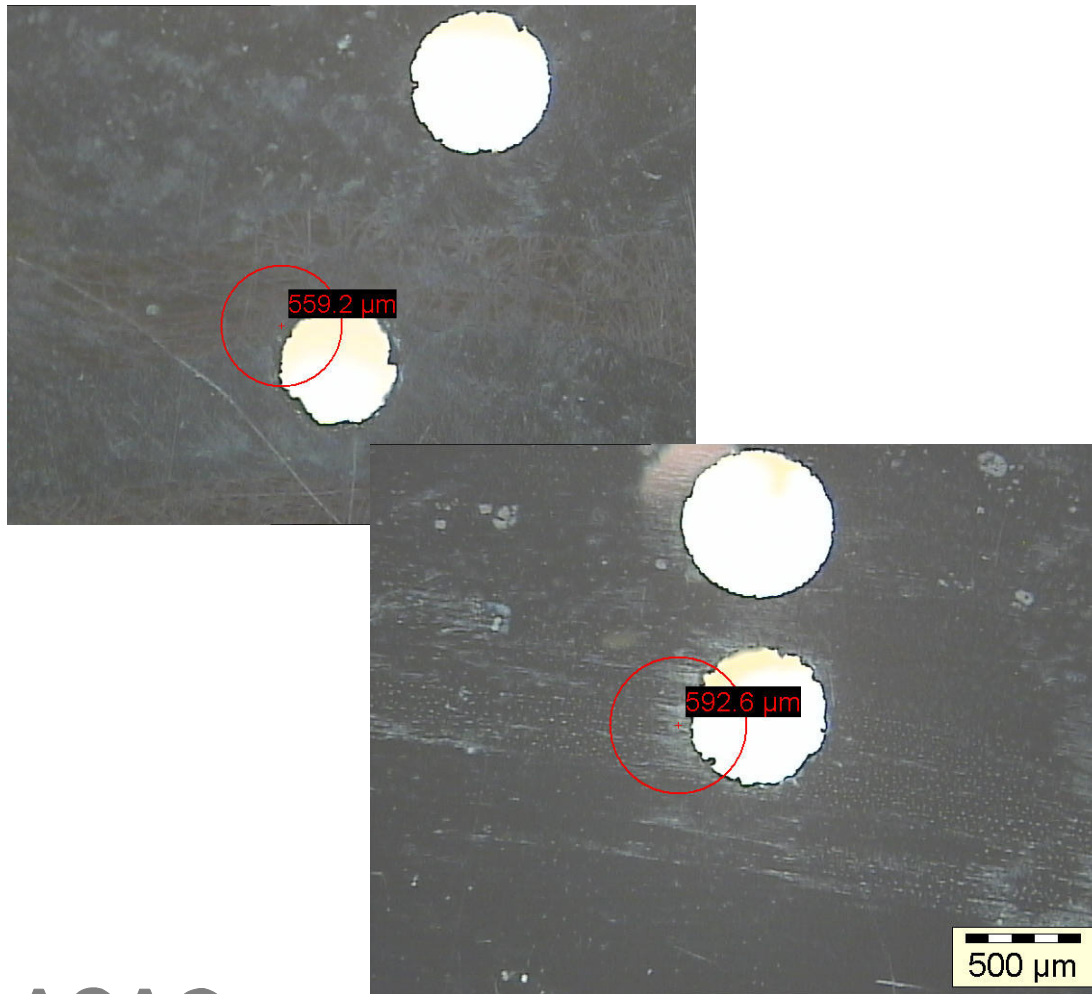
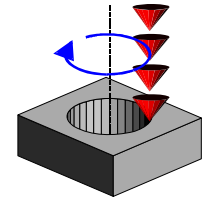
Matériau: Bronze
Epaisseur : 4 mm

Paramètres Laser :
2.9 J / 0.4 ms / 31 Hz

Paramètres process :
Vitesse 30 mm/min , N2 – 10 bar

Géométrie:
Entrée : 1.1 mm
Sortie : 1 mm

Substrat de Silicium



Laser: FLS 352

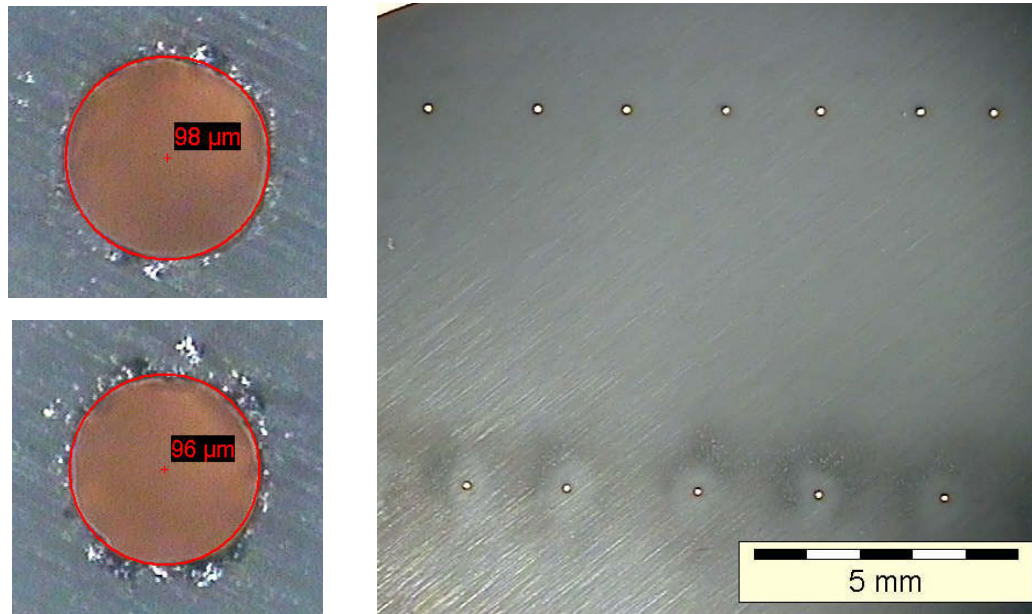
Matériau: Silicium
Epaisseur : 6.5 mm

Paramètres Laser:
3.8 J / 0.7 ms

Paramètres process :
Frequence : 28 Hz, Air, 50 mm/min
Temps de perçage 5s

Géométrie:
Entrée /Sortie : 0.55/ 0.59 mm

Nitruure de Silicium (SiN)

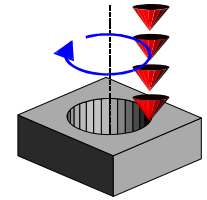


Laser: KLS 246
Paramètres : 0.17 J / 0.21 ms
Fréquence : 100 Hz, N2, 6 mm/min
Temps de perçage : 4s

Epaisseur : 1.5 mm
Entrée /Sortie : 0.098/ 0.096 mm

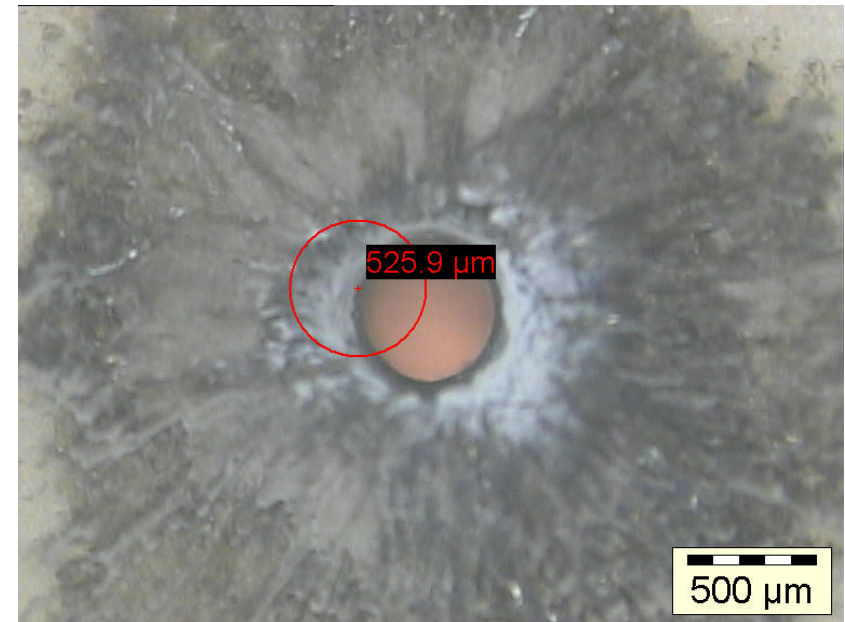
LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

Alumine (Al2O3)

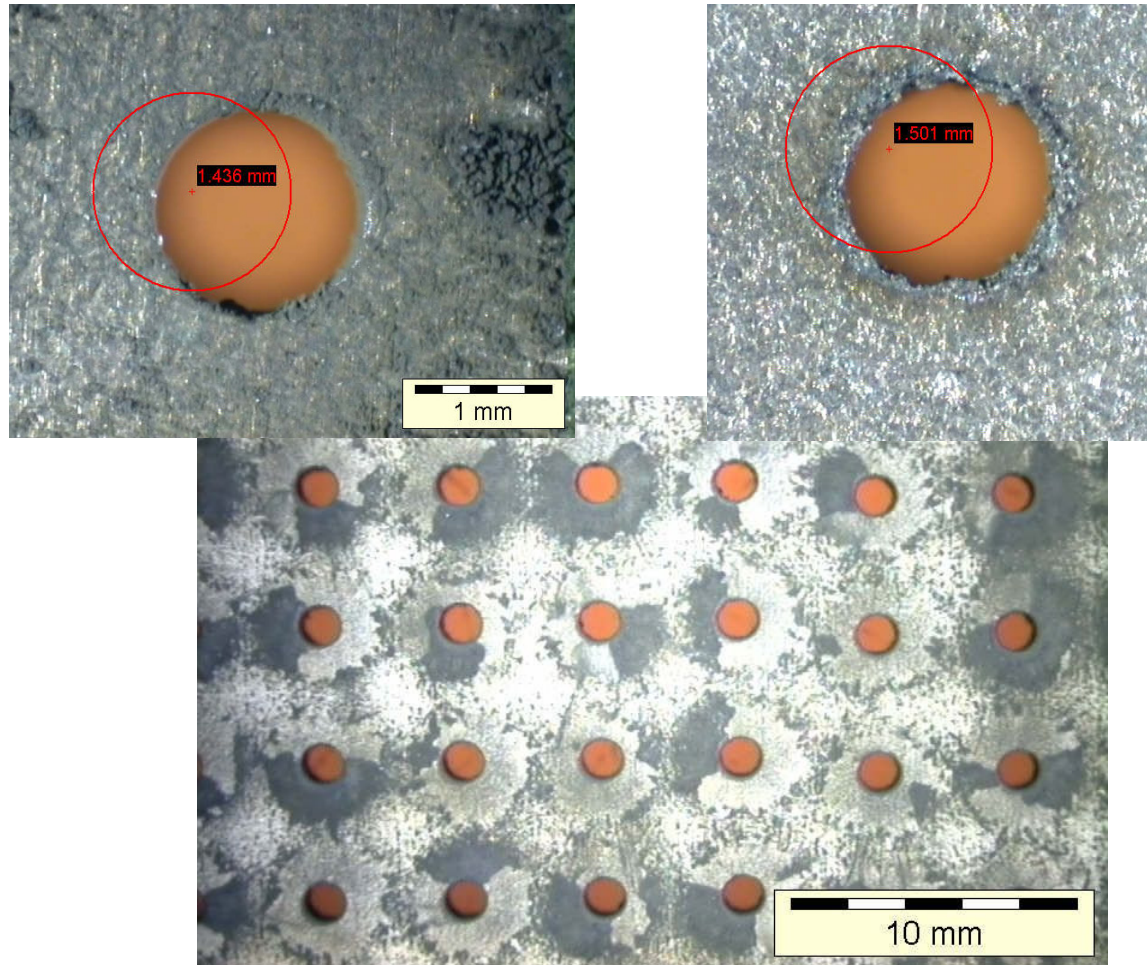
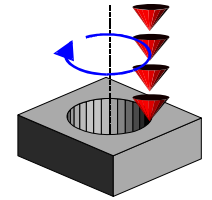


Laser: FLS 352
Paramètres : 3.8 J / 0.7 ms
Frequence : 28 Hz, Air, 50 mm/min
Temps de perçage : 5s

Epaisseur : 7.7 mm
Entrée /Sortie : 0.55/ 0.52 mm



Plateau aspirant



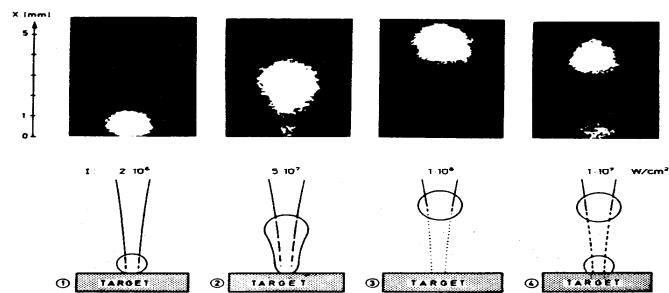
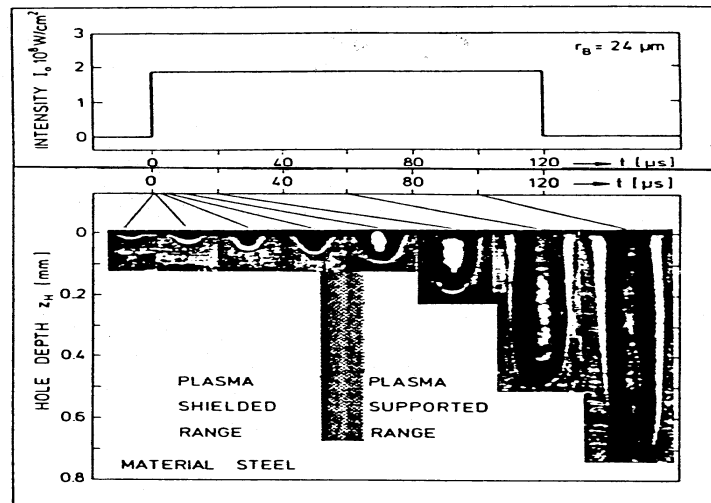
Laser: FLS 352
Matériau: Alliage Ni-Mo
Epaisseur : 5 mm

Paramètres Laser:
2.4 J / 0.35 ms

Paramètres process :
Frequence : 53 Hz, O2, 70 mm/min
Temps de perçage 6s

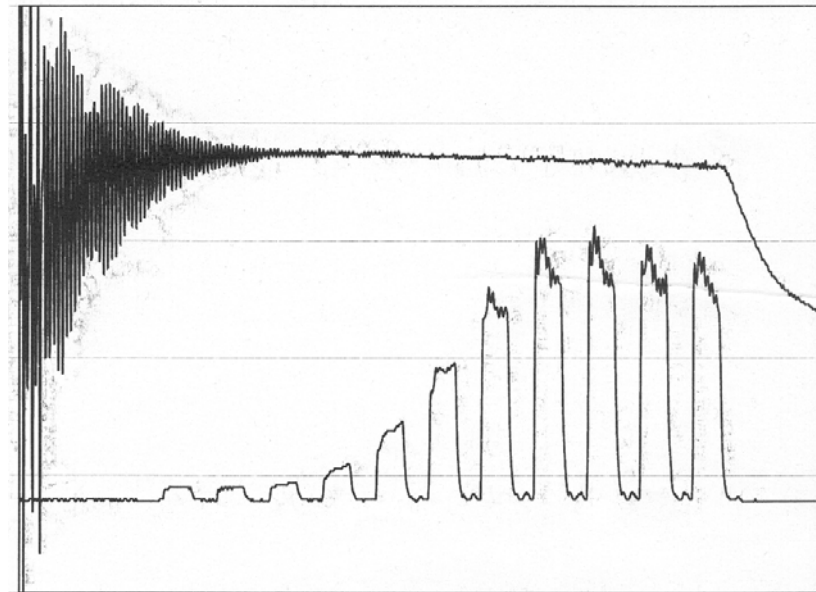
Géométrie:
Entrée /Sortie : 1.45 / 1.5 mm

Perçage de trous borgnes avec modulation de faisceau - Dynamique du procédé -



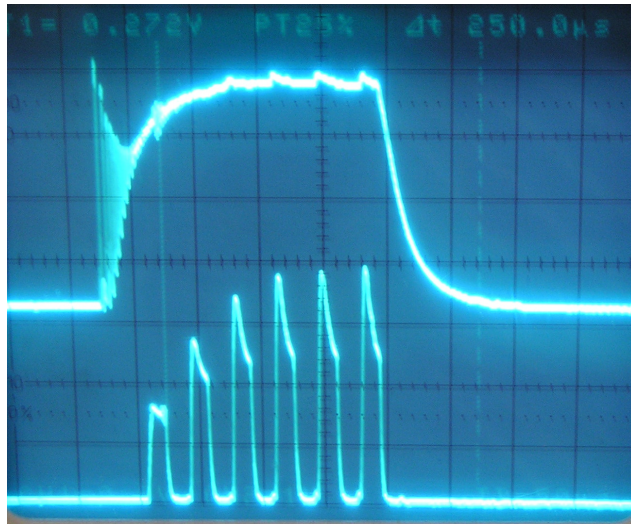
Demonstration of target shielding by the laser induced plasma" (Treusch 86)

Influence sur la dynamique du process à l'aide de Modulation (quelques kHz) et de formation d'impulsion

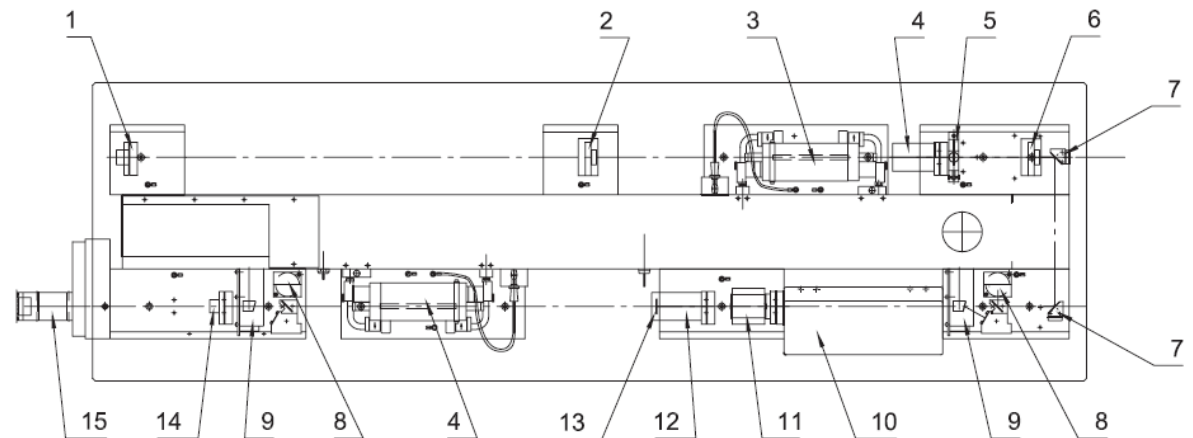
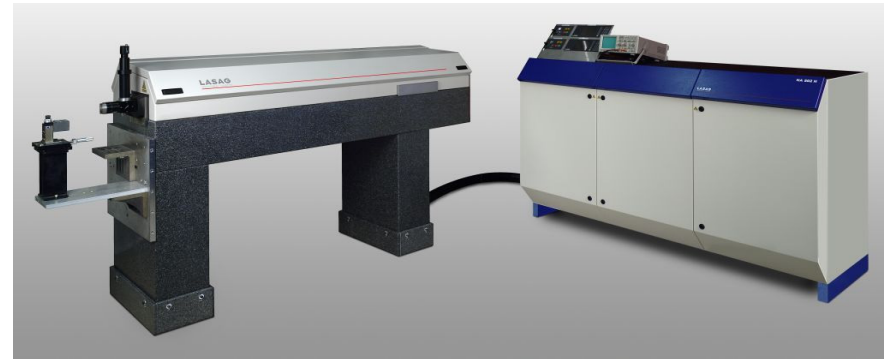


Treusch: Laser und Optoelektronik, Nr.4/1985
Rohde: Dissertation 1997
Kudesia et al: J. Laser Appl. 14No.3, 2002

Machine de perçage d'aiguilles



250 μ s



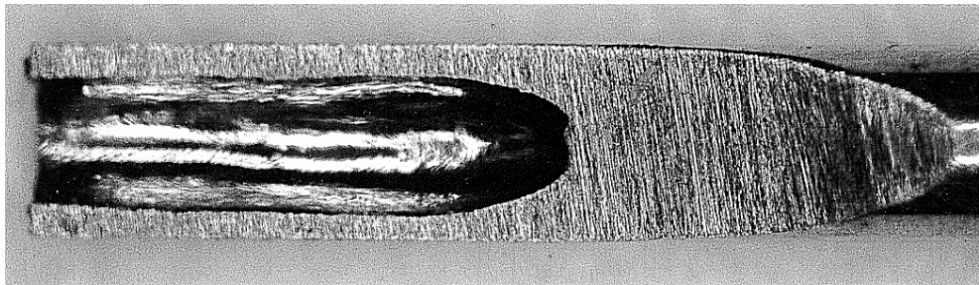
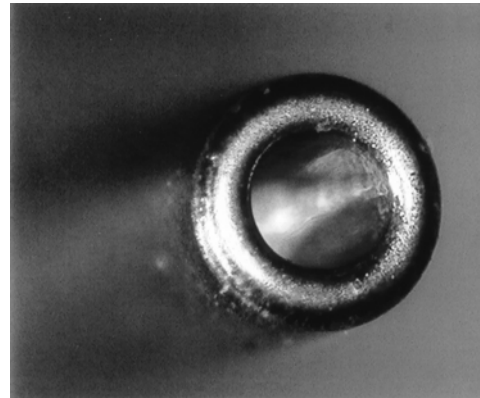
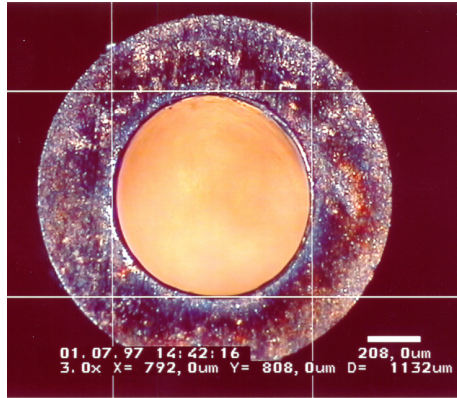
Possibilité de réglages :

Fréquence de Modulation

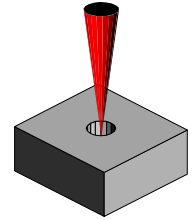
Formation d'impulsion (z.B. Delais entre amplificateur et oscillateur)

Paramètres pulse (Oscillateur, Amplificateur)

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS



Aiguilles chirurgicales



Matériau: Acier Inoxydable

Entrée : 0.05-0.4 mm

Sortie : Arrête arrondies ou vives

aspect: 1:4-1:8

Matériau: Acier Inoxydable

Spec. :

Epaisseur :	1 mm
Entrée :	0.17 mm
Sortie :	0.17 mm
Tolerance :	±3µm (4%)

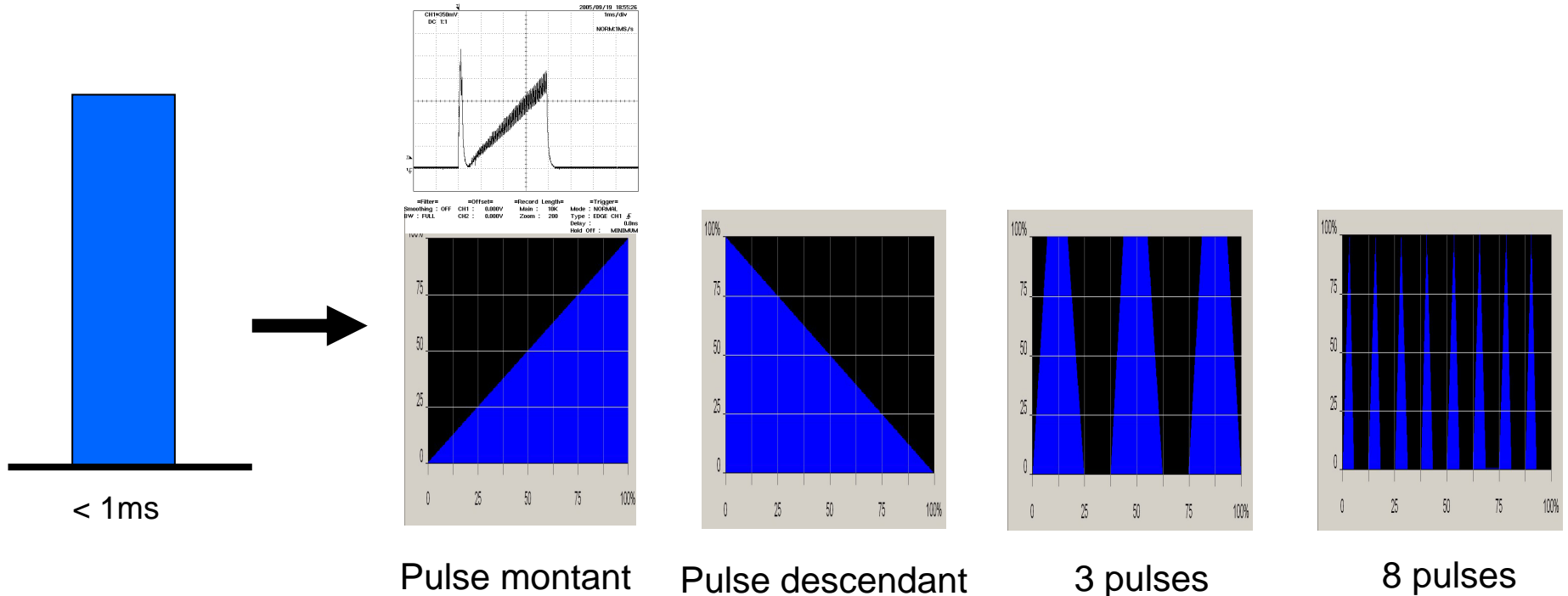


Source Wetzel

Perçage avec formation d'impulsion

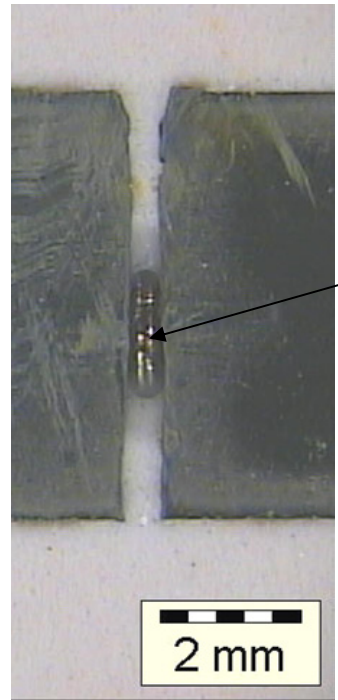
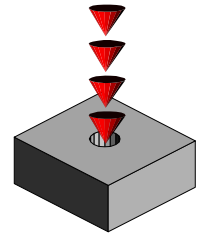
Concept : Ajustement dans le temps de l'apport d'énergie pour optimisation de la métallurgie ainsi que de l'évacuation du métal fondu à l'aide de formes d'impulsions entièrement programmables

Essais réalisés avec fibre optique dans le but de maintenir un spot constant et minimiser l'influence des modes ainsi que de la lentille thermique

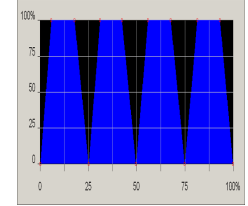
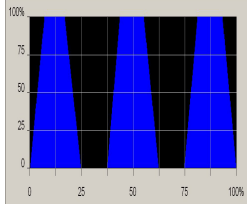
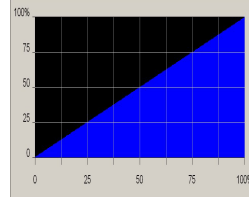
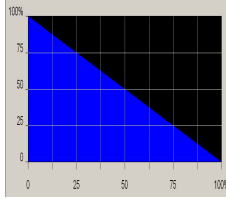


Fibre

Perçage en percussion : Acier Inox (304L)



Pb. enrobage

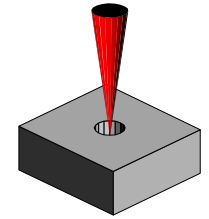


Durée d'impulsion : 2.8ms
Puissance crete : 8.5 kW
20 Pulses (5Hz, 12.9J)

Epaisseur : 6mm
Fibre: 400µm

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

Perçage pulse unique : qualitésmerkmale



Acier Inox 304L

Durée d'impulsion : 5ms

Puissance crête : 5kW

Epaisseur : 1.5mm

Fibre 0.2mm

Géometrie (Reproductibilité)

Entrée : 0.464 +/- 0.006 mm

Sortie : 0.432 +/- 0.009 mm

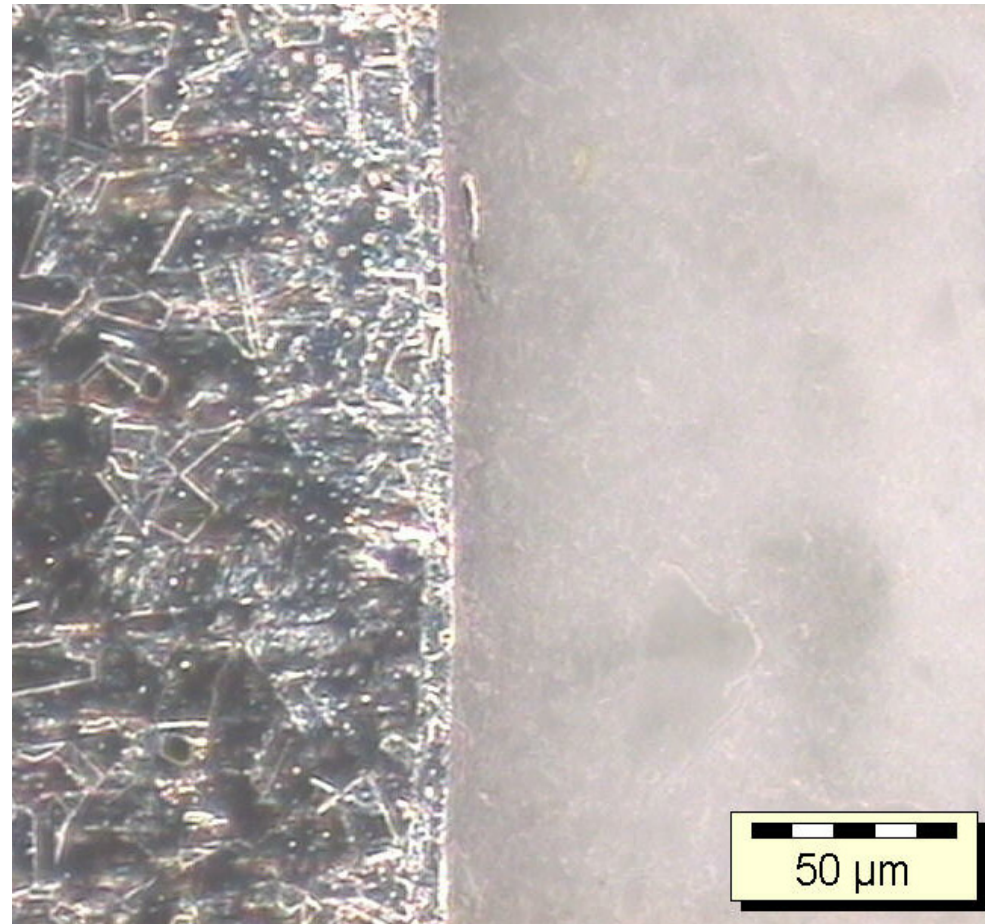
Metallurgie

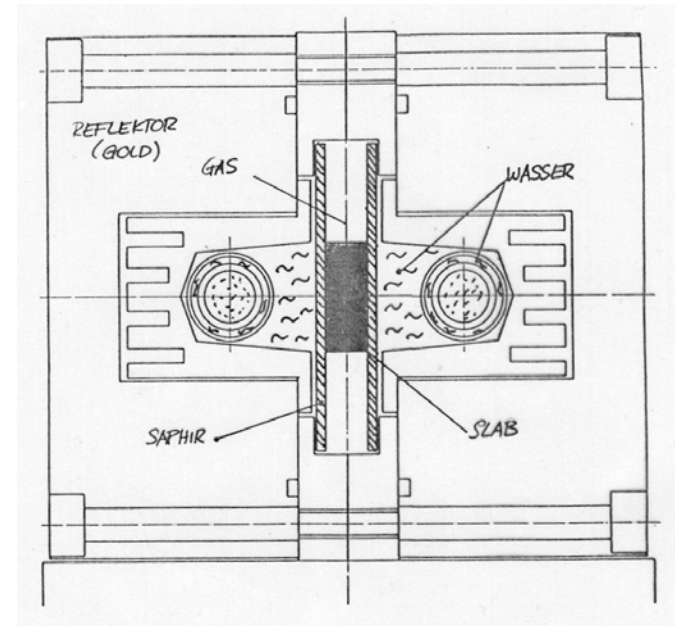
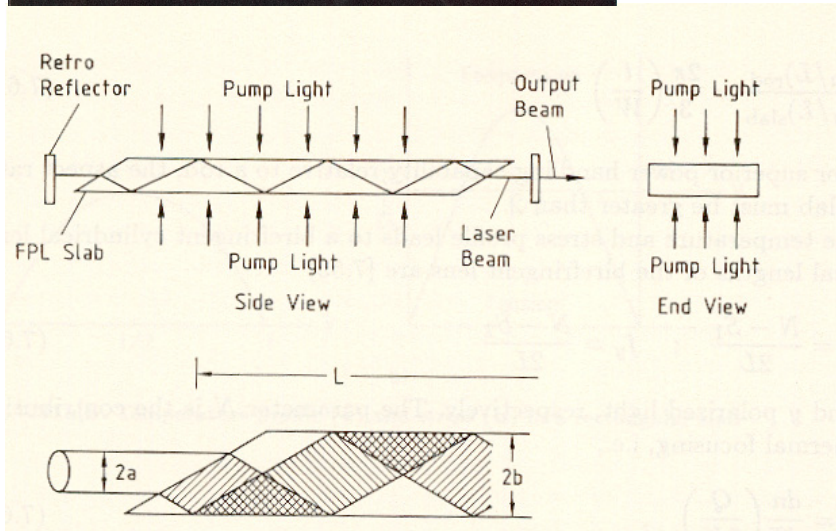
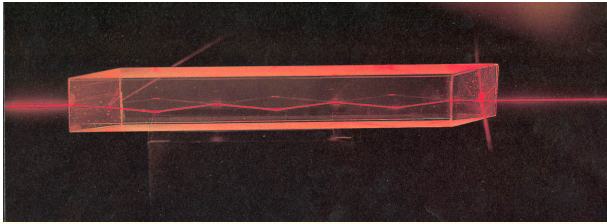
Entrée : Projections métalliques

Sortie : Projections / Bavures

Zone fondue (Recast)

ZAT: 0.010 – 0.020 mm

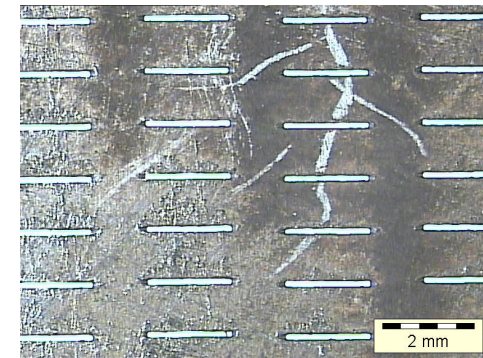




Avantage du Slab comparé a un laser a barreau :

- Effet de lentille thermique négligeable dû au trajet en Zig-Zag et au gradient thermique transversal
- Belastungsgrenze ist höher

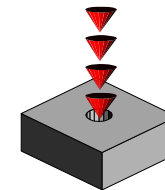
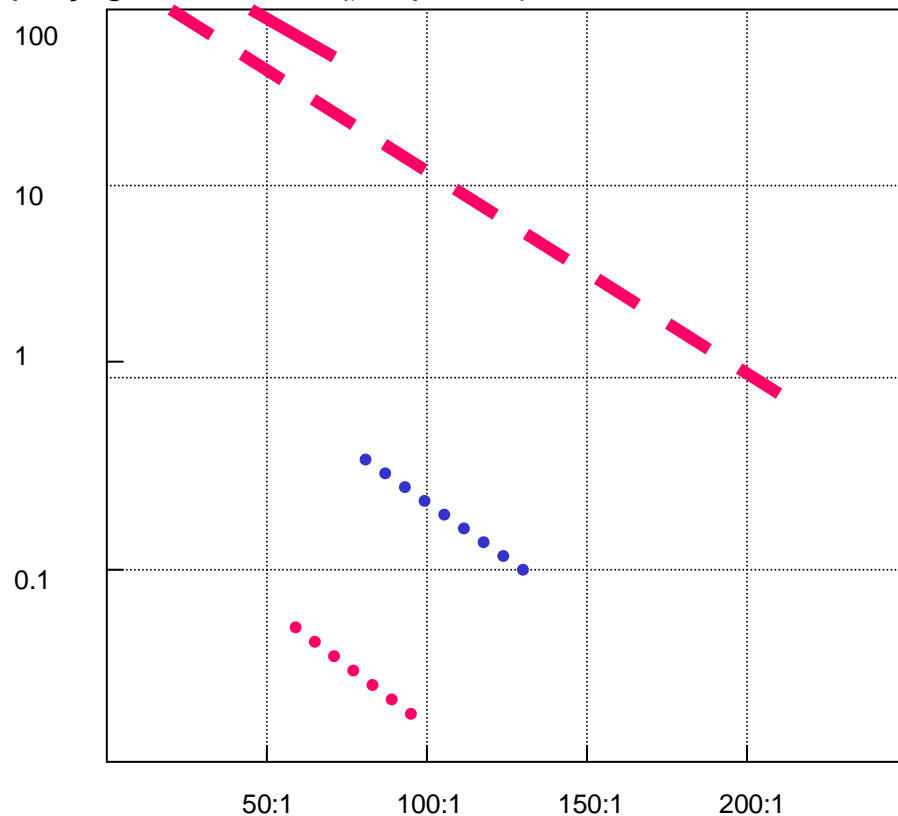
$$(P_I/L)_{rod} / P_I(L)_{slab} = 2\pi/3 (t/w)$$
 (t = Epaisseur , w = Largeur)



Tir unique avec lentille Cylindrique
 Trou : 2 x 0.12 mm

Percussion / Ablation – Perçage avec $1.06\mu\text{m}$ Faisceau laser : Comparaison μs – ns

Taux de perçage / ablations ($\mu\text{m}/\text{pulses}$)



Paramètres typiques (Acier)
< μs -ms(1064nm); bis 100J;
<20Hz



μs (1064nm); mJ-J; >70Hz



15 ns(355nm); <mJ; 10kHz



(15ns(1064nm); mJ; 10kHz
(beides:Govorkov et al)



Facteur de forme (Profondeur/Diamètre)

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

Merci
de
votre
attention



tiny holes
aspect ratio
1 : 80

**Why LASAG ?
one of the best**

→ ← $\varnothing 50 \mu\text{m}$

↑
4 mm
↓

LASAG
INDUSTRIAL - LASERS

A COMPANY OF THE **SWATCH GROUP**