



SYNOVA
Ch. Dent-d'Oche
CH-1024 Ecublens
Suisse
www.synova.ch

RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 1312-2
Echantillon No: 2.2.1351

CONFIDENTIEL

RAPPORT: Découpe de différentes pièces horlogères par Laser-MicroJet®

Pour Anonymous

Par Florent Bruckert, Sébastien Kurzen, Synova SA

1. OBJECTIFS

La technologie du Laser-MicroJet® a été utilisée pour découper plusieurs pièces horlogères dans des substrats de laiton et d'acier, dont l'épaisseur était comprise entre 0.15 mm et 0.315 mm. L'objectif était d'optimiser le profil de rugosité en fonction des stratégies de coupe et des paramètres laser sur un même tracé.

2. DESCRIPTION

Le tableau ci-dessous regroupe les différentes pièces réalisées.

ECHANTILLON	Composants	Référence	Matière	Épaisseur [µm]	Quantité
	Dent amovible	11101	Laiton	300	5
	Disque 31	11102	Acier H1	215	5
	Doigt rattrapage	11103	Acier H1	215	5
	Étoile rattrapage mois	11104	Acier H1	215	5
	Roue E	11105	Acier H1	150	5
	Roue G	11106	Acier H1	150	5
	Sautoir de quantième	11107	Acier H1	215	5
	Came	11108	Acier H1	315	5

3. PROCEDE: INSTRUMENT & PARAMETRES DE DECOUPE

La LCS 300, équipé d'un laser pulsé utilisant la seconde harmonique du Nd:YAG a été déterminée comme la machine disponible dans notre laboratoire la mieux adaptée pour la découpe de métaux fins telle que prévue par cette application.

Revue de rapport			
Chef de projet		Responsable Application	
Nom:	F. Bruckert, S. Kurzen	Nom:	Dr. Benjamin Carron
Date:	03.12.2013	Date:	11.12.2013
Visa:	FBR, SK	Visa:	BC



SYNOVA

Ch. Dent-d'Oche
CH-1024 Ecublens
Suisse
www.synova.ch

RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 1312-2
Echantillon No: 2.2.1351

CONFIDENTIEL

Dans le tableau ci-dessous, vous trouverez l'ensemble des paramètres optimisés et utilisés pour l'intégralité des tests de découpe. Ceux-ci ont été gardés constants lors du développement.

	SYSTEME	Machine Fixation	LCS300 <i>Pincé</i>
	PARAMETRES DU MICROJET®	Diamètre de buse Distance focale de la lentille Distance de travail Pression d'eau Gaz d'assistance Débit	40 μm 250 mm 12 mm 400 bar He 0.9 L/min
	PARAMETRES LASER	Laser Longueur d'onde	L51G 532 nm

Le développement s'est axé sur l'état de surface et le suivi de contour (vibrations, effet de tonneau, etc). Notons que le temps de découpe est un critère clairement perfectible suivant les exigences.

Lors de ce développement, nous avons utilisé deux jeux de paramètres laser optimisés pour la rugosité sur les métaux fins et épais.

PARAMETRES LASER	Paramètres	P1	P2
	Taux de répétitions [kHz]	6	30
	Temps de pulse [ns]	120	100
	Puissance laser interne [W]	16	19.8
	Puissance laser dans le jet [W]	5.2	8.5

TABLEAU 1 : Récapitulatif des paramètres laser utilisés.

Dans ce qui suit, nous faisons référence aux stratégies de multipasse et de monopasse. La première consiste à découper une pièce en passant à plusieurs reprises sur le même contour, coupant ainsi de plus en plus profond dans la matière jusqu'à la découpe complète.

La seconde consiste à découper une pièce en un seul passage du laser. Cependant, pour garantir la qualité de coupe, le laser nécessite d'être déjà traversant au début du contour de la pièce. Pour ce faire, nous coupons en multipasse un « start hole », à proximité de la pièce à usiner. Le laser traversant passe alors de ce trou au contour de la pièce par ce qu'on appelle un « lead in », ou une « entrée dans la matière ». En principe, et comme montré dans l'image ci-dessous, cette stratégie laisse un petit appendice sur le contour de la pièce, à l'endroit du « lead in ».



SYNOVA
Ch. Dent-d'Oche
CH-1024 Ecublens
Suisse
www.synova.ch

RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 1312-2
Echantillon No: 2.2.1351

CONFIDENTIEL

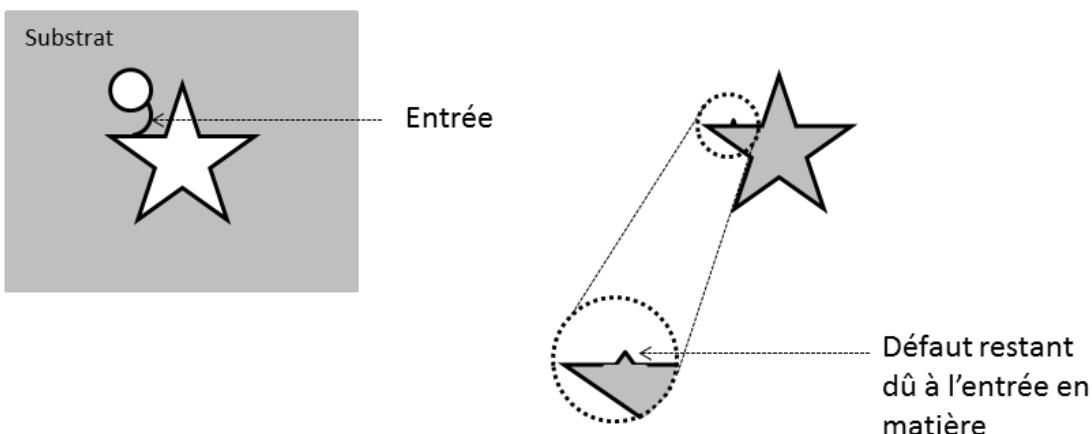
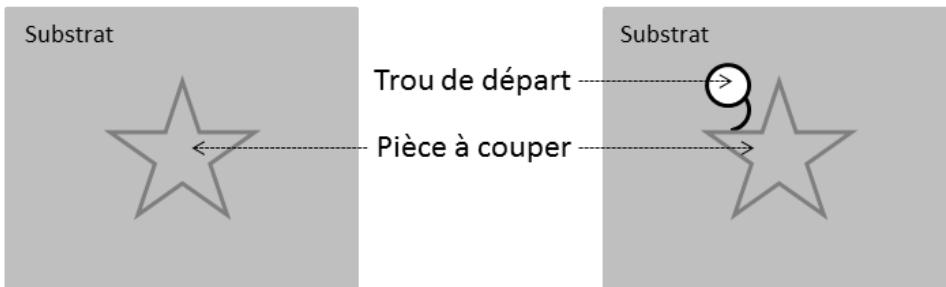


IMAGE 1 : Illustration découpe monopasse avec « lead in ».

Une passe de finition est, comme son nom l'indique, le passage du laser pour affiner la qualité de la découpe. Une technique utilisée à Synova est de découper le contour de la pièce de manière traversante, puis, de déplacer de quelques microns le faisceau laser en direction de la pièce et de procéder à un dernier passage sur tout le contour. Ce dernier passage permet donc de lisser le profil de la pièce. L'image 2 ci-dessous illustre ce procédé.

Dans cette application, une stratégie en monopasse a été déterminée comme la plus satisfaisante en termes de qualité de coupe. Par ailleurs, une passe de finition a été appliquée sur chaque contour interne des différentes pièces.

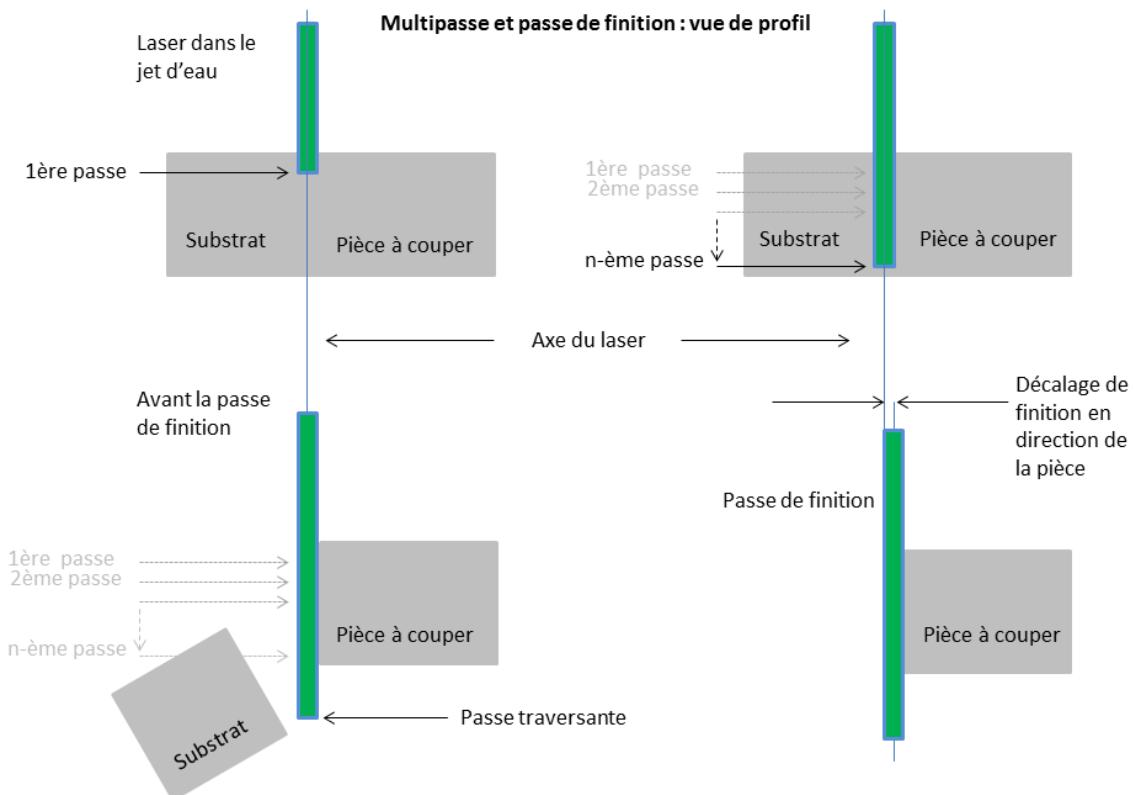


IMAGE 2 : Illustration d'une passe de finition.

4. RESULTATS

Comme mentionné ci-dessus, la première pièce a été découpée dans 300 µm de laiton et les suivantes l'ont été dans différentes épaisseurs d'acier. L'ensemble des résultats obtenus sont résumés dans cette section.

Pour toutes les pièces, quelques points importants sont à noter :

- Une stratégie en monopasse a été appliquée;
- Afin d'optimiser l'efficacité des découpes, nous avons opté pour des paramètres laser légèrement plus agressifs pour la réalisation des « start holes » (P1 dans le tableau 1). Une fois ces derniers découpés, des paramètres laser adéquats à la matière traitée étaient utilisés (P2 dans le tableau 1);
- Nous donnons une représentation du programme utilisé pour le tracé du faisceau laser. Dans ces images, le « start hole » n'est pas dessiné, contrairement à l'entrée dans la matière. Cette dernière permet de situer où l'on risque de trouver un défaut du contour ;
- Une passe de finition a été appliquée avec un décalage de 10 µm dans la matière pour chaque contour intérieur. Pour cette passe, la vitesse était de 0.2 mm/s. Dans l'illustration citée au point précédent, le contour bleu représente la passe de finition.



SYNOVA
Ch. Dent-d'Oche
CH-1024 Ecublens
Suisse
www.synova.ch

RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 1312-2
Echantillon No: 2.2.1351

CONFIDENTIEL

4.1. DENT AMOVIBLE, LAITON, 300 MICRONS

L'image 3 ci-dessous donne une représentation du programme utilisé pour la découpe de la dent amovible.

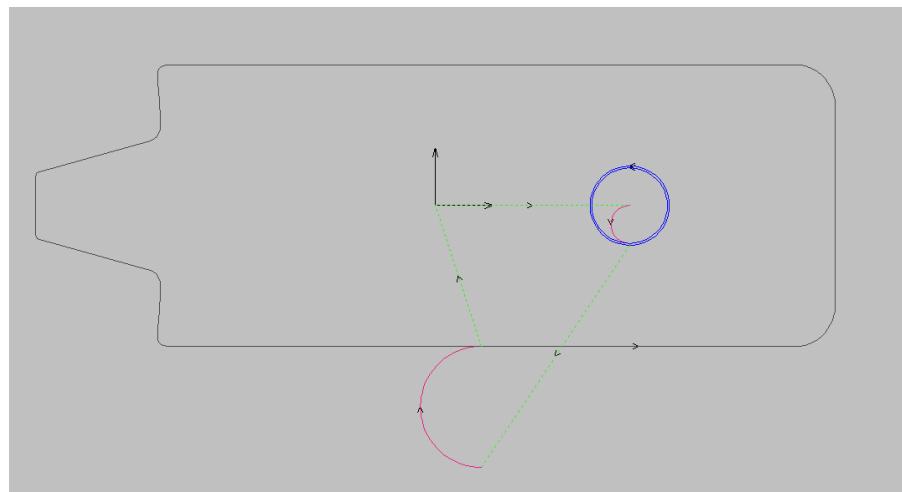


IMAGE 3 : Contour programmé pour le passage du faisceau laser.

Image	Vitesses [mm/s]	Temps de découpe [min'sec]
4 et 6	0.2	1'25
5 et 7	0.8	0'34

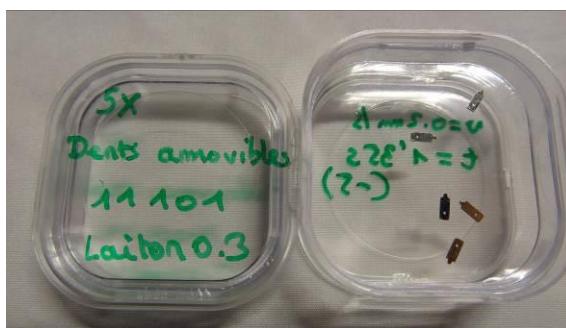


IMAGE 4 : Vue macroscopique, $v=0.2$ mm/s.

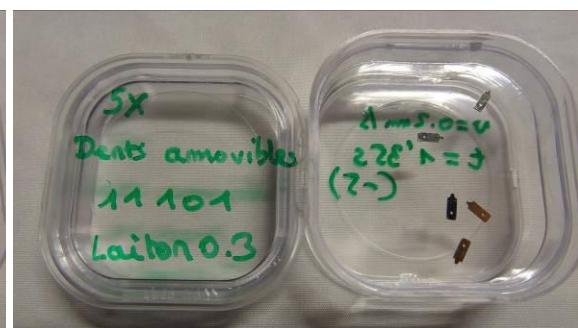


IMAGE 5 : Vue macroscopique, $v=0.8$ mm/s.

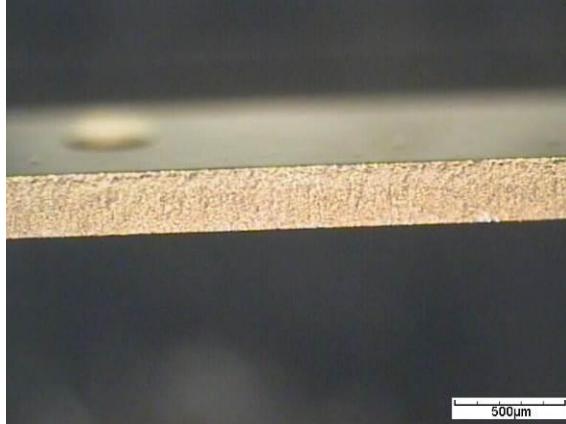


IMAGE 6 : Vue de profil, $v=0.2$ mm/s.

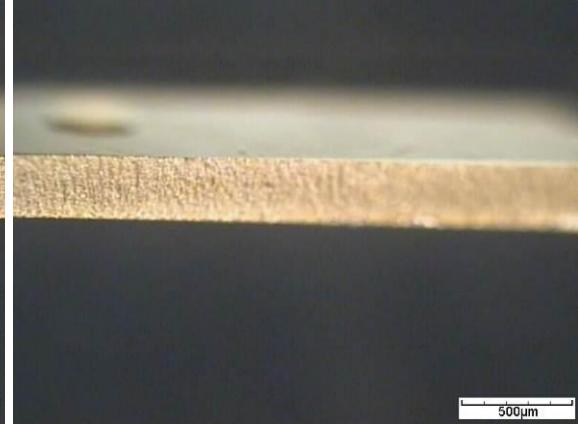


IMAGE 7 : Vue de profil, $v=0.8$ mm/s.



SYNOVA
Ch. Dent-d'Oche
CH-1024 Ecublens
Suisse
www.synova.ch

RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 1312-2
Echantillon No: 2.2.1351

CONFIDENTIEL

4.2. DISQUE 31, ACIER H1, 215 MICRONS

L'image 8 ci-dessous donne une représentation du programme utilisé pour la découpe du disque 31.

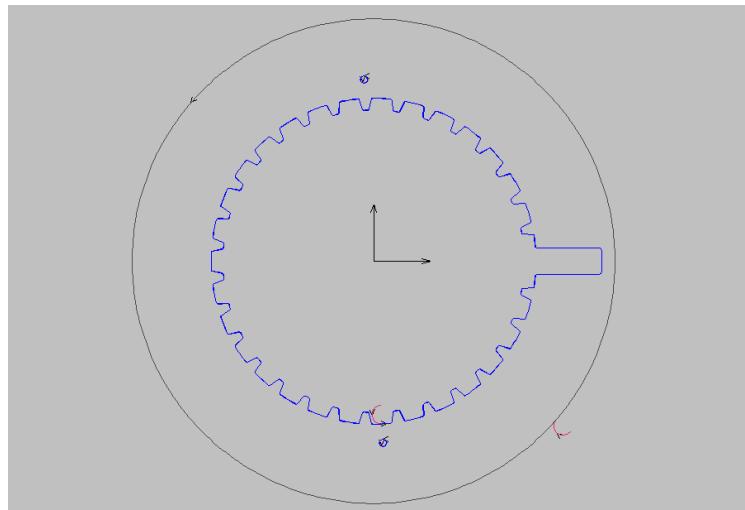


IMAGE 8 : Contour programmé pour le passage du faisceau laser.

Image	Vitesses [mm/s]	Temps de découpe [min'sec]
9 et 10	0.2	23'00



IMAGE 9 : Vue macroscopique, v=0.2 mm/s.

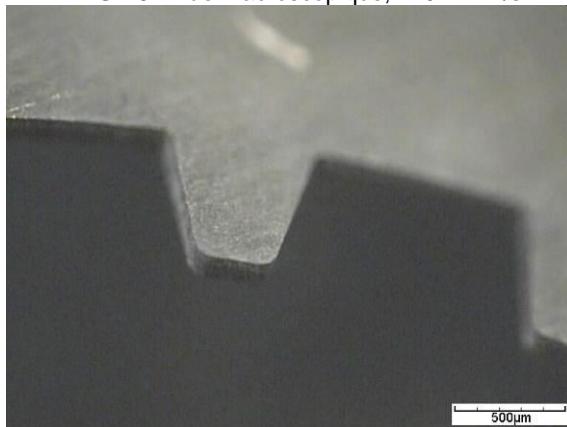


IMAGE 10 : Vue de profil, v=0.2 mm/s.



SYNOVA
Ch. Dent-d'Oche
CH-1024 Ecublens
Suisse
www.synova.ch

RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 1312-2
Echantillon No: 2.2.1351

CONFIDENTIEL

4.3. DOIGT RATTRAPAGE, ACIER H1, 215 MICRONS

L'image 11 ci-dessous donne une représentation du programme utilisé pour la découpe du doigt de rattrapage.

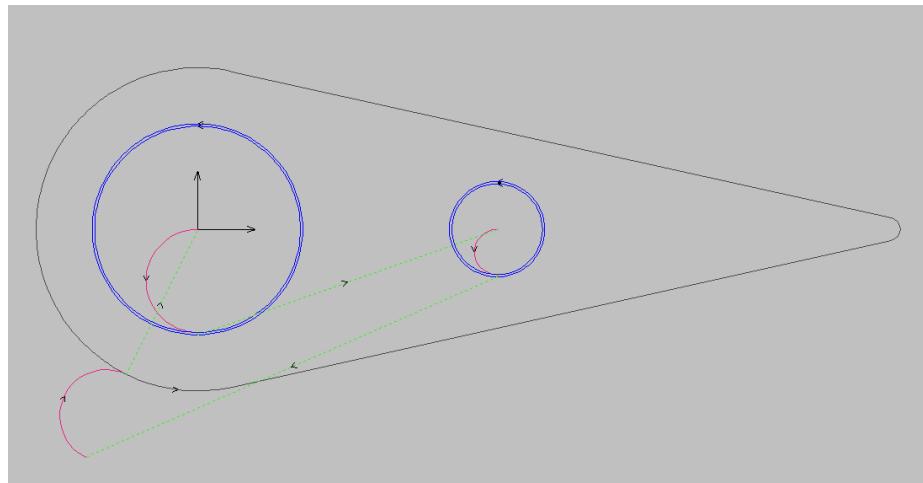


IMAGE 11 : Contour programmé pour le passage du faisceau laser.

Image	Vitesses [mm/s]	Temps de découpe [min'sec]
12 et 14	0.2	1'33
13 et 15	0.8	0'46

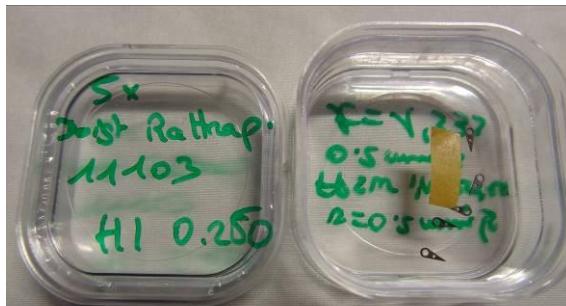


IMAGE 12 : Vue macroscopique, $v=0.2$ mm/s.

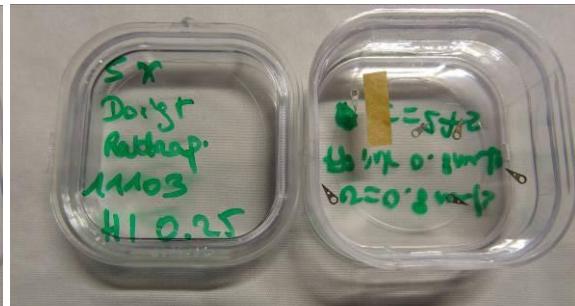


IMAGE 13 : Vue macroscopique, $v=0.8$ mm/s.



IMAGE 14 : Vue de profil, $v=0.2$ mm/s.



IMAGE 15 : Vue de profil, $v=0.8$ mm/s.



SYNOVA
Ch. Dent-d'Oche
CH-1024 Ecublens
Suisse
www.synova.ch

RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 1312-2
Echantillon No: 2.2.1351

CONFIDENTIEL

4.4. ÉTOILE RATTRAPAGE MOIS, ACIER H1, 215 MICRONS

L'image 16 ci-dessous donne une représentation du programme utilisé pour la découpe de l'étoile rattrapage mois.

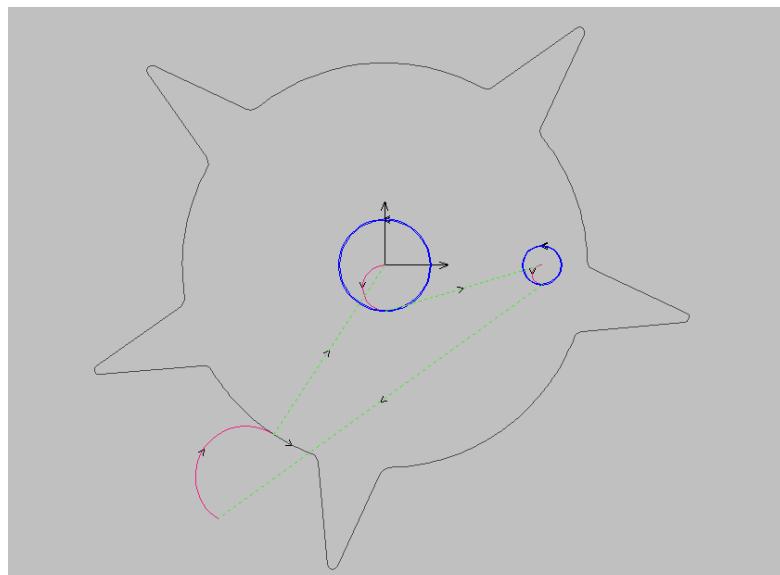


IMAGE 16 : Contour programmé pour le passage du faisceau laser.

Image	Vitesses [mm/s]	Temps de découpe [min'sec]
17 et 18	0.2	2'57

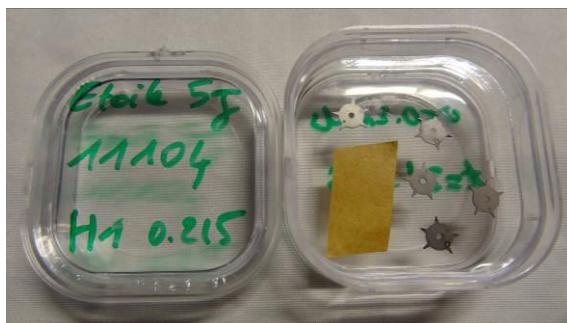


IMAGE 17 : Vue macroscopique, v=0.2 mm/s.

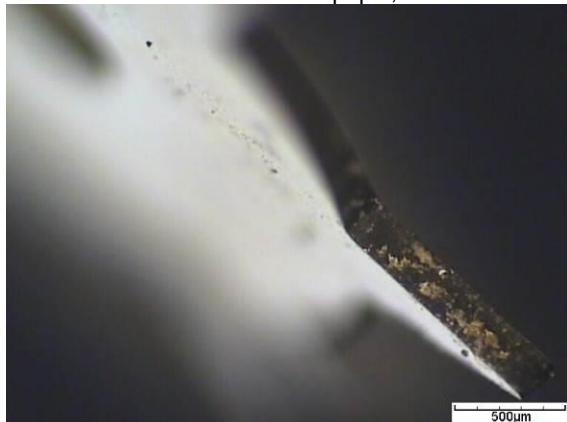


IMAGE 18 : Vue de profil, v=0.2 mm/s.



SYNOVA
Ch. Dent-d'Oche
CH-1024 Ecublens
Suisse
www.synova.ch

RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 1312-2
Echantillon No: 2.2.1351

CONFIDENTIEL

4.5. ROUE E, ACIER H1, 150 MICRONS

L'image 19 ci-dessous donne une représentation du programme utilisé pour la découpe de la roue E.

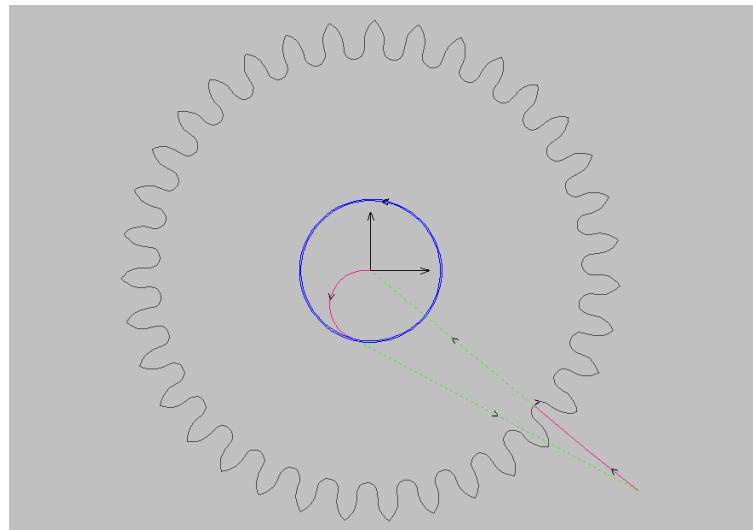


IMAGE 19 : Contour programmé pour le passage du faisceau laser.

Image	Vitesses [mm/s]	Temps de découpe [min'sec]
20, 21 et 22	1.2	0'43



IMAGE 20 : Vue macroscopique, v=1.2 mm/s.

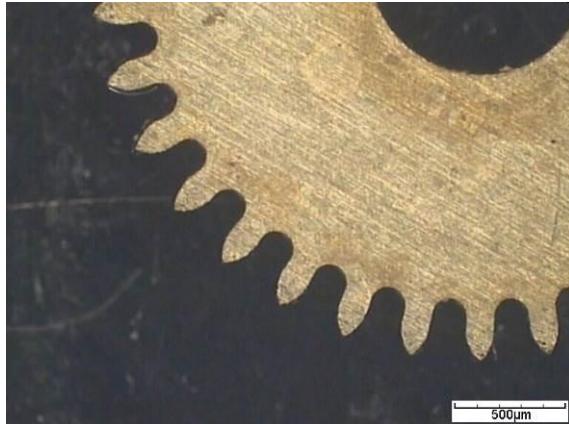


IMAGE 21 : Vue de dessus, v=1.2 mm/s.



IMAGE 22 : Vue de profil, v=1.2 mm/s.



SYNOVA
Ch. Dent-d'Oche
CH-1024 Ecublens
Suisse
www.synova.ch

RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 1312-2
Echantillon No: 2.2.1351

CONFIDENTIEL

4.6. ROUE G, ACIER H1, 150 MICRONS

L'image 23 ci-dessous donne une représentation du programme utilisé pour la découpe de la roue G.

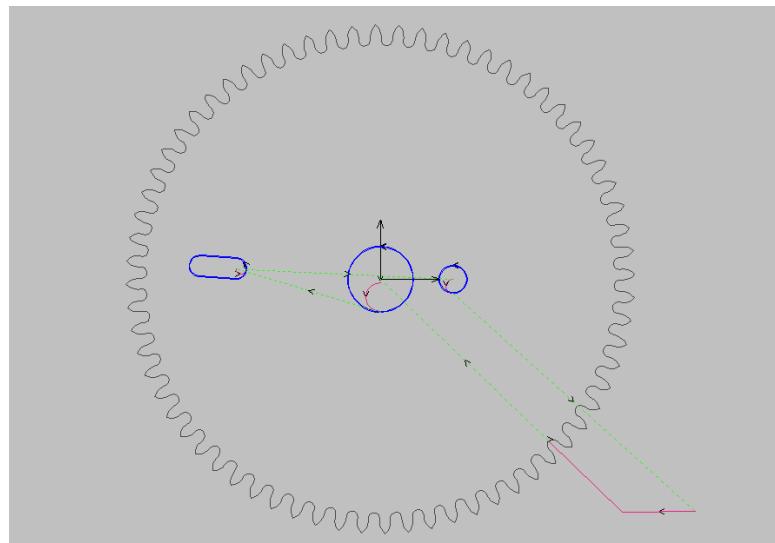


IMAGE 23 : Contour programmé pour le passage du faisceau laser.

Image	Vitesses [mm/s]	Temps de découpe [min'sec]
24 et 25	1.2	1'17



IMAGE 24 : Vue macroscopique, v=1.2 mm/s.

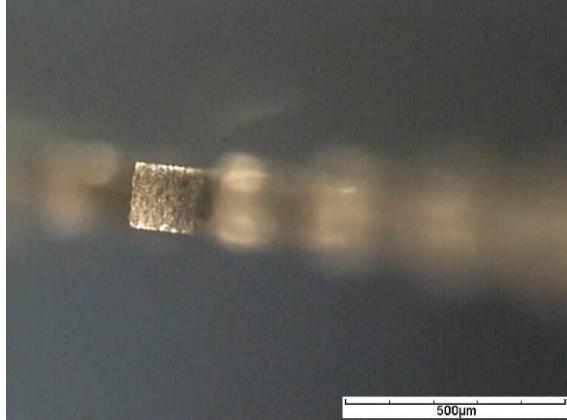


IMAGE 25 : Vue de profil, v=1.2 mm/s.



SYNOVA
Ch. Dent-d'Oche
CH-1024 Ecublens
Suisse
www.synova.ch

RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 1312-2
Echantillon No: 2.2.1351

CONFIDENTIEL

4.7. SAUTOIR DE QUANTIÈME, ACIER H1, 215 MICRONS

L'image 26 ci-dessous donne une représentation du programme utilisé pour la découpe du sautoir de quantième.

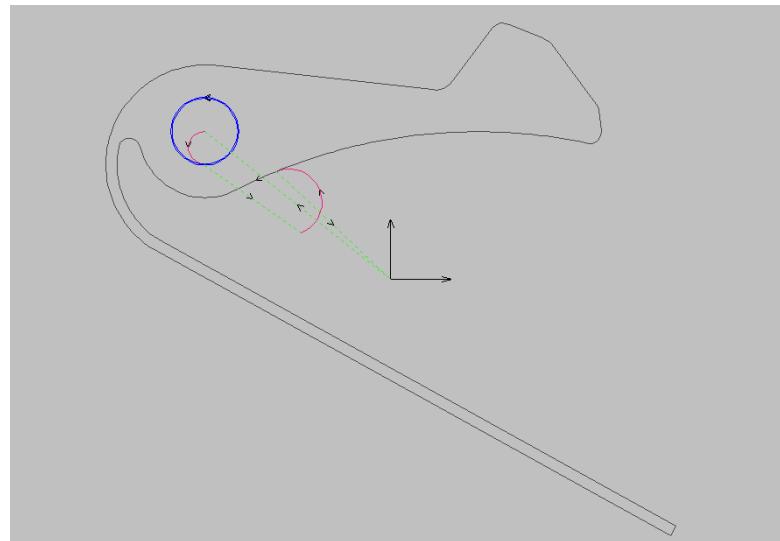


IMAGE 26 : Contour programmé pour le passage du faisceau laser.

Image	Vitesses [mm/s]	Temps de découpe [min'sec]
27 et 28	0.2	2'30

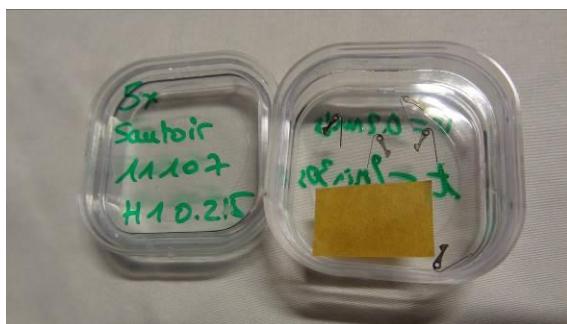


IMAGE 27 : Vue macroscopique, v=0.2 mm/s.



IMAGE 28 : Vue de profil, v=0.2 mm/s.



SYNOVA
Ch. Dent-d'Oche
CH-1024 Ecublens
Suisse
www.synova.ch

RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 1312-2
Echantillon No: 2.2.1351

CONFIDENTIEL

4.8. CAME, ACIER H1, 315 MICRONS

L'image 29 ci-dessous donne une représentation du programme utilisé pour la découpe de la came.

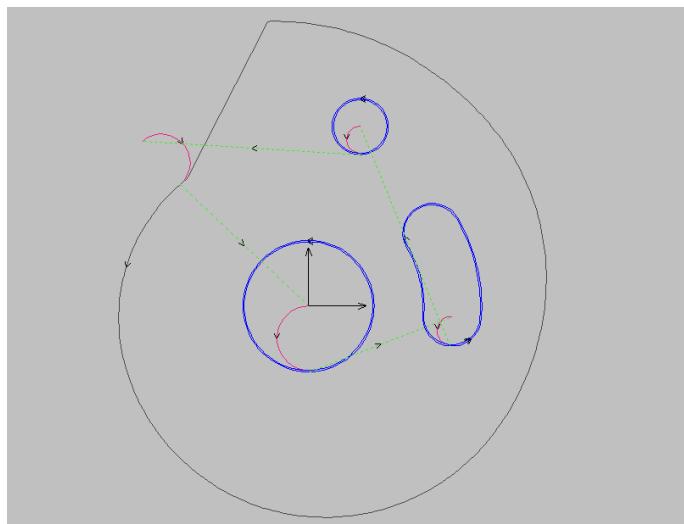


IMAGE 29 : Contour programmé pour le passage du faisceau laser.

Image	Vitesses [mm/s]	Temps de découpe [min'sec]
30 et 31	1.2	2'40

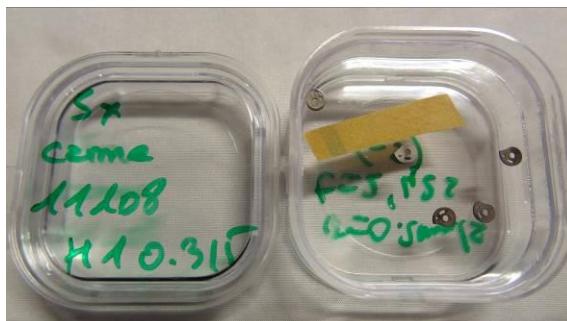


IMAGE 30 : Vue macroscopique, v=1.2 mm/s.

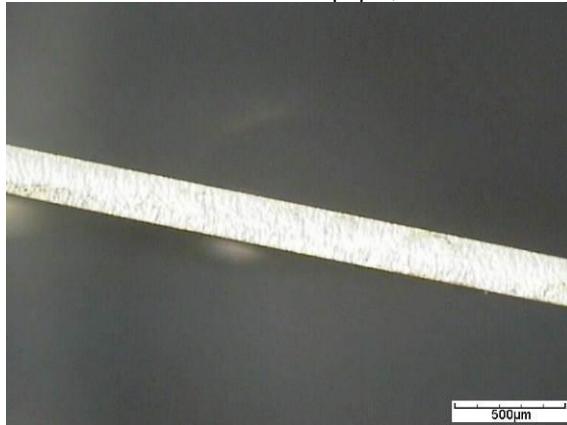


IMAGE 31 : Vue de profil, v=1.2 mm/s.



SYNOVA
Ch. Dent-d'Oche
CH-1024 Ecublens
Suisse
www.synova.ch

RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 1312-2
Echantillon No: 2.2.1351

CONFIDENTIEL

5. CONCLUSION

Les découpes de pièces en laiton et en acier ont été réalisées sur une machine SYNOVA LCS 300. Cette machine utilise la technologie du Laser MicroJet® et combine les avantages du laser pulsé à haute énergie avec les propriétés de guide d'ondes et de refroidissement apporté par un jet d'eau de moins de 40 µm de diamètre. Le laser est utilisé pour l'ablation du matériau. Le jet d'eau, pour sa part, guide le faisceau laser, refroidit le bord de découpe et évacue les particules sublimées.

Nous sommes ouverts à l'amélioration concernant vos besoins en termes de :

- L'homogénéité de la rugosité sur le flanc ;
- La vitesse moyenne de découpe ;
- L'amélioration du trajet du laser ;
- Le nettoyage et le conditionnement ;
- La stratégie de coupe.

Nous vous remercions pour l'intérêt que vous portez en notre technologie et espérons que nos résultats sont en accord avec vos exigences.

Nous vous contacterons très prochainement afin d'obtenir un retour sur ces essais pour partager nos résultats d'analyses et ainsi discuter avec vous des prochaines étapes.