



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

# RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 153-5  
Echantillon No: 2.2.1583

**CONFIDENTIEL**

## RAPPORT: Découpe de pièces mécaniques fonctionnelles par Laser-MicroJet®

*Pour* Anonymous

*Par* Florent Bruckert, Synova SA

### OBJECTIF

La technologie du Laser-MicroJet® fut utilisée pour découper différentes pièces mécaniques fonctionnelles dans le cadre de prototypages rapides avec pour objectif la qualité des pièces.

### DESCRIPTION DU CAHIER DES CHARGES

	DENOMINATION	MATERIAU	EPAISSEUR (mm)	QUANTITE
<b>Ressort (image 1)</b>	Durnico	0.2, 0.45, 0.8	4, 4, 4	4
	Laiton	0.4		4
	CuBe2	0.4		4
<b>Roue (image 2)</b>	Durnico	0.2, 0.45, 0.8	4, 4, 4	4
	Laiton	0.4		4
	CuBe2	0.4		4
<b>Pont (image 3)</b>	Laiton	1.2		4

### DESCRIPTION DE LA MATIÈRE FOURNIE

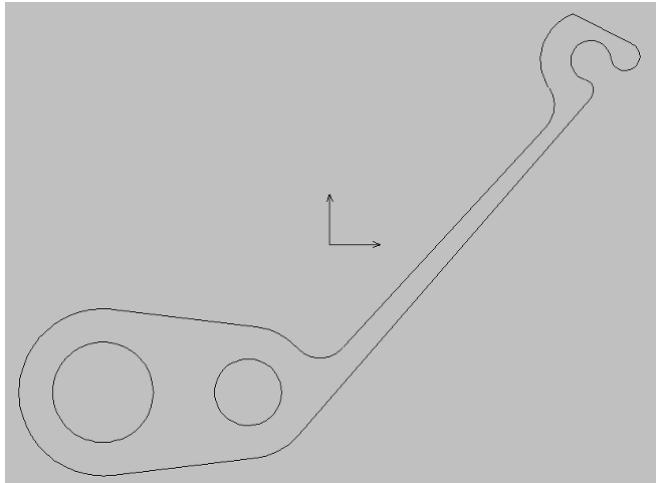
MATERIAU	EPAISSEUR (mm)	QUANTITE	CHOIX LASER
<b>Durnico*</b>	0.2	3	VG21G
	0.45	2	L51G
	0.8	1	L51G
<b>Laiton</b>	0.45	3	L51G
	1.2	1	L51G
<b>CuBe2</b>	0.4	3	L51G

Rapport d'application			
Ingénieur Application		Directeur Application	
Nom:	Florent Bruckert, Carole Spori	Nom:	M. Benjamin Carron
Date:	05.08.2015	Date:	04.05.2015
Visa:	FBR	Visa:	BC

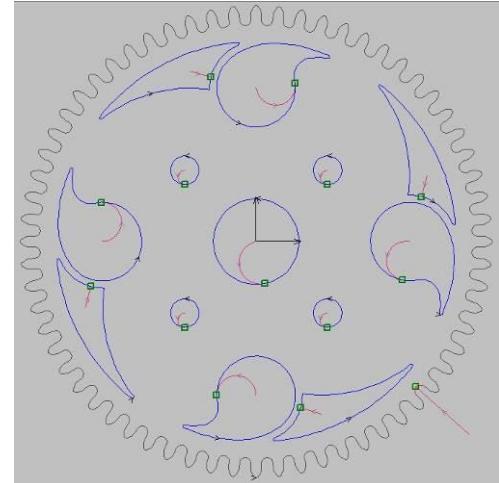


\*Nous avons observé une coloration de surface inhabituelle de durcissement sur les plaques de durnico dès leur arrivée. Le traitement thermique voire un dépôt électrolytique effectué semblent être la cause de ce changement d'aspect de surface.

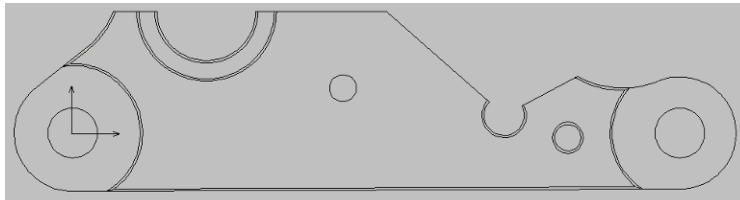
## PLANS DE COUPE



**IMAGE 1:** Représentation du ressort (vue supérieure)



**IMAGE 2:** Représentation de la technologie d'usinage appliquée de la roue (vue supérieure)



**IMAGE 3:** Représentation du pont (vue supérieure)



**PIECES PRODUITES**



Remarque: Les pièces #1 à #4 en laiton 1.2 (correspond au groupe 3) ont été reprises et usinés à nouveau selon les spécifications transmises le 04.08.2015.

**IMAGE 4:** Photographies des pièces produites (vue supérieure)

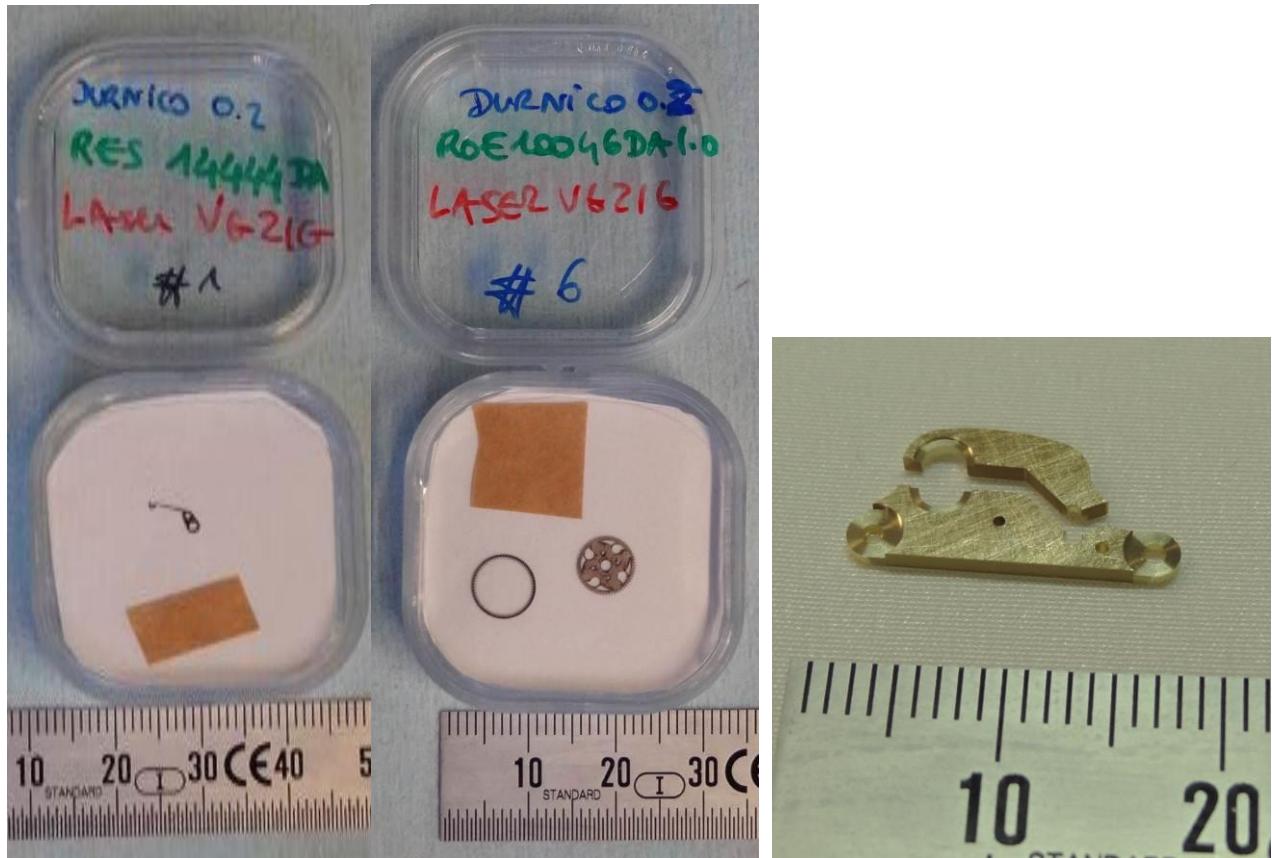


**SYNOVA**  
Ch. Dent-d'Oche  
CH-1024 Ecublens  
Suisse  
www.synova.ch

# RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 153-5  
Echantillon No: 2.2.1583

**CONFIDENTIEL**



**IMAGE 5,6 ET 7:** Photographie des 3 types de pièces produites, respectivement le ressort RES14444DA 1.0, la roue ROE10046DA 1.0 et le pont PON1190DA 1.0 (vue supérieure)



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

# RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 153-5  
Echantillon No: 2.2.1583

**CONFIDENTIEL**

## PROCÉDÉ: INSTRUMENT & PARAMÈTRES DE DÉCOUPE

La LCS 300, équipée de deux lasers pulsés utilisant la seconde harmonique du Nd:YAG, a été déterminée comme la machine la mieux adaptée pour cette application.

Dans le tableau ci-dessous, vous trouverez l'ensemble des paramètres optimisés utilisés pour les tests de découpe :

 <b>SYSTÈME</b>	Machine	LCS300	
	Système de fixation	Barquettes : mors de serrage	Roue : posage fourni
 <b>PARAMÈTRES DU MICROJET®</b>	Diamètre de la buse	30 µm	
	Largeur du jet	25 µm	
	Gaz d'assistance	He	
	Débit de gaz	1.1 L/min	
	Pression d'eau	550 bar	
	Distance de travail (unité de couplage-échantillon)	9 mm	
 <b>PARAMÈTRES LASER</b>		Jeu 1	Jeu 2
	Laser	L51G	VG21G
	Longueur d'onde	532 nm	
	Taux de répétition laser	6 kHz	80 kHz
	Durée d'impulsion	120 ns	14 ns
	Puissance dans le jet	6.5 W	4.7 W



**PARTIE I : DÉCOUPE DU RESSORT**

Concernant la stratégie, une passe de finition a été appliquée aux contours intérieurs. Elle permet d'améliorer la rugosité, et de supprimer le défaut inhérent à l'entrée / sortie dû à la stratégie de coupe en une passe.

**I.1. Durnico 0.2mm (#1 sur Image 4 P3)**

Référence	Références image	Nombre de passes	Jeu de paramètres (laser)	Vitesse ébauche (mm/s)	Vitesse passe de finition et/ou extérieure (mm/s)	Temps de cycle
#1 à #5	8 à 13	1	2 (VG21G)	0.1	0.1	5min15s(*)

(\*) Le temps de coupe minimum en appliquant une vitesse de 0.5mm/s en ébauche et 0.5mm/s en finition est de 1min44s. La qualité résultante du flanc de cette pièce montre une moitié « irisée ».

**I.2. Durnico 0.45mm (#8 sur Image 4 P3)**

Référence	Références images	Nombre de passes	Jeu de paramètres (laser)	Vitesse ébauche (mm/s)	Vitesse passe de finition et/ou extérieure (mm/s)	Temps de cycle
#1 à #4	14 à 16	1	1 (L51G)	0.2	0.2	2min29s(**)

**I.3. CuBe 0.4mm (#4 sur Image 4 P3)**

Référence	Références images	Nombre de passes	Jeu de paramètres (laser)	Vitesse ébauche (mm/s)	Vitesse passe de finition et/ou extérieure (mm/s)	Temps de cycle
#1 à #4	17 à 19	1	1 (L51G)	0.2	0.2	2min29s(**)

**I.3. Laiton 0.45mm (#6 sur Image 4 P3)**

Référence	Références images	Nombre de passes	Jeu de paramètres (laser)	Vitesse ébauche (mm/s)	Vitesse passe de finition et/ou extérieure (mm/s)	Temps de cycle
#1 à #4	20 à 22	1	1 (L51G)	0.2	0.2	2min29s(**)

(\*\*) Le temps de coupe est perfectible. Il s'agit ici d'un compromis qualité/vitesse afin de correspondre aux exigences qualitatives requises.



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

# RAPPORT D'APPLICATION

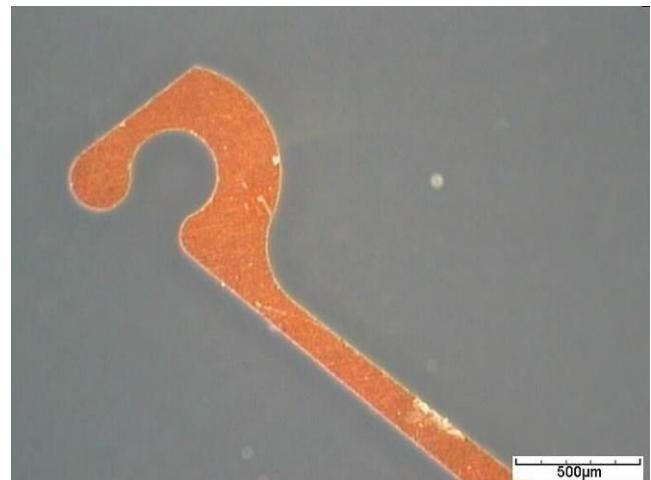
Rapport No: 153-5  
Echantillon No: 2.2.1583

**CONFIDENTIEL**

## RÉSULTATS



**IMAGE 8:** Crochet du ressort, Durnico 0.2mm, face avant. La coloration résiduelle est issue du traitement thermique (présence d'une couche mince en surface).



**IMAGE 9:** Crochet du ressort, Durnico 0.2mm, face arrière



**IMAGE 10:** Base du ressort, Durnico 0.2mm, face avant



**IMAGE 11:** Base du ressort, Durnico 0.2mm, face arrière



**IMAGE 12:** Flanc de la tige du ressort, Durnico 0.2mm, Ra : 0.27 µm



**IMAGE 13:** Flanc du contour intérieur de la base du ressort, Durnico 0.2mm, Ra : 0.3 µm avec passe de finition.

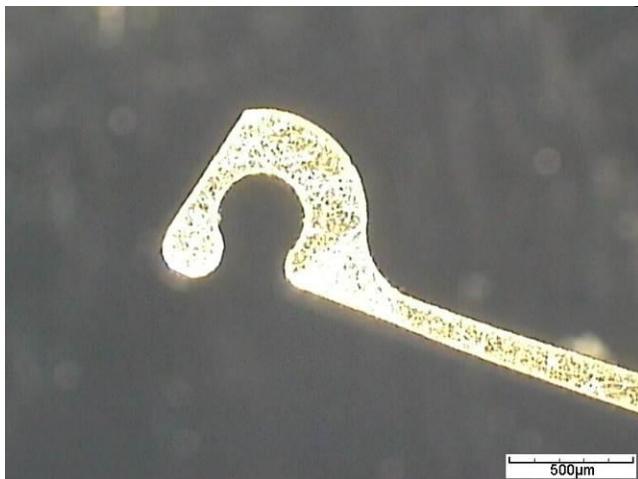


**SYNOVA**  
Ch. Dent-d'Oche  
CH-1024 Ecublens  
Suisse  
www.synova.ch

## RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 153-5  
Echantillon No: 2.2.1583

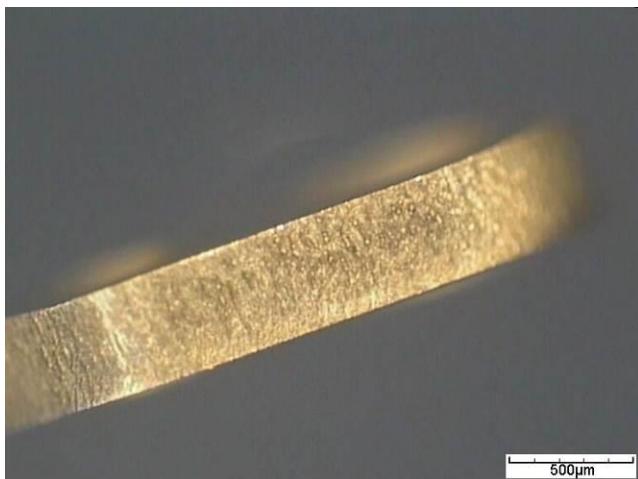
**CONFIDENTIEL**



**IMAGE 14:** Crochet, face avant, Durnico 0.45mm



**IMAGE 15:** Crochet, face arrière, Durnico 0.45mm



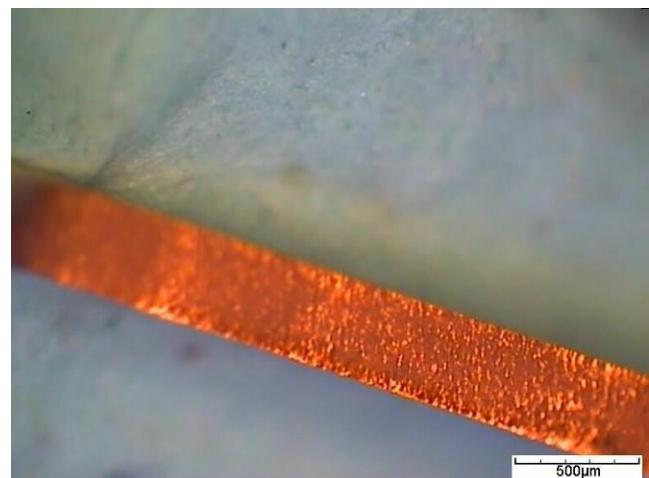
**IMAGE 16:** Base, flanc de coupe, Durnico 0.45mm



**IMAGE 17:** Crochet, face avant, CuBe 0.4mm



**IMAGE 18:** Crochet, flanc de coupe, CuBe 0.4mm



**IMAGE 19:** Bras, flanc de coupe, CuBe 0.4mm



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

## RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 153-5  
Echantillon No: 2.2.1583

**CONFIDENTIEL**



**IMAGE 20:** Crochet, Face avant, laiton 0.45mm



**IMAGE 21:** Face arrière, laiton 0.45mm



**IMAGE 22:** Bras, Flanc de coupe, laiton 0.45mm



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

# RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 153-5  
Echantillon No: 2.2.1583

**CONFIDENTIEL**

## PARTIE II : DÉCOUPE DE LA ROUE

Tout outil de coupe dispose d'un rayon minimum. Dans un objectif qualitatif, un rayon de 20µm sur les contours intérieurs a été imposé au dxf originel.

Concernant la stratégie, une passe de finition a pu être appliquée aux contours intérieurs. Elle permet d'améliorer la rugosité, et de supprimer le défaut inhérent à l'entrée / sortie dû à la stratégie de coupe en une passe. Le détail des paramètres de coupe est donné ci-après.

### II.1. Durnico 0.2mm (#2 sur Image 4 P3)

Réf.	Réf. images	Nombre de passes	Jeu de paramètres (laser)	Vitesse ébauche (mm/s)	Vitesse passe de finition et/ou extérieure (mm/s)	Process 2 temps (finition extérieure)	Temps
#1	23	1	2 (VG21G)	0.25	0.1	NON	20min20s
#2	24 à 26	1		0.15	0.1	NON	21min22s
#3 à #7	27 à 29	1		0.15	0.1	OUI	28min07s

Un liseré sur le flanc de coupe intérieur (en ébauche) nous a amené à diminuer la vitesse d'avance sur les pièces suivantes.

Les pièces #3 à #7 ont été usinées en 2 temps afin de pouvoir appliquer une passe de finition sur la denture. Ceci a pour but d'améliorer le profil de rugosité sur les parties fonctionnelles de la denture.

### II.2 Durnico 0.45mm (#9 sur Image 4 P3)

Référence	Références images	Nombre de passes	Jeu de paramètres (laser)	Vitesse ébauche (mm/s)	Vitesse passe de finition et/ou extérieure (mm/s)	Temps de cycle
#1 à #4	30 à 32	1	1 (L51G)	0.3	0.3	10min20s**

### II.3 CuBe 0.4mm (#5 sur Image 4 P3)

Référence	Références images	Nombre de passes	Jeu de paramètres (laser)	Vitesse ébauche (mm/s)	Vitesse passe de finition et/ou extérieure (mm/s)	Temps de cycle
#1	-	1	1 (L51G)	0.1	0.1	24min03s
#2 à #5	33 à 35	1	1 (L51G)	0.4	0.4	6min25s**

### I.3. Laiton 0.45mm (#7 sur Image 4 P3)

Référence	Références images	Nombre de passes	Jeu de paramètres (laser)	Vitesse ébauche (mm/s)	Vitesse passe de finition et/ou extérieure (mm/s)	Temps de cycle
#1	-	1	1 (L51G)	0.1	0.1	24min03s
#2 à #5	36 à 38	1	1 (L51G)	0.4	0.4	6min25s**

(\*\*) Le temps de coupe est perfectible. Il s'agit ici d'un compromis qualité/vitesse afin de correspondre aux exigences qualitatives requises.



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

# RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 153-5  
Echantillon No: 2.2.1583

**CONFIDENTIEL**

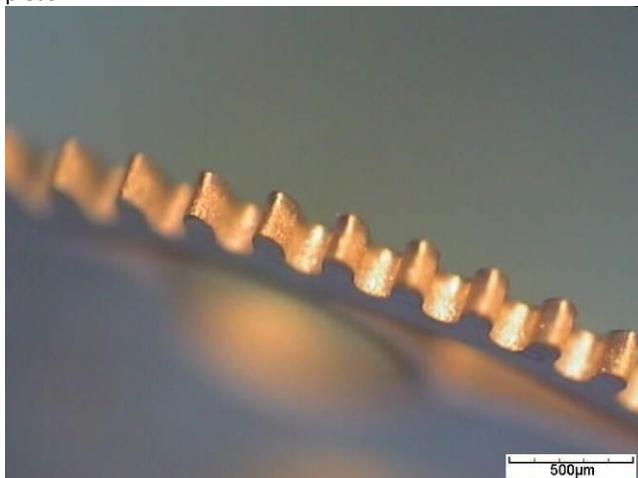
## RÉSULTATS



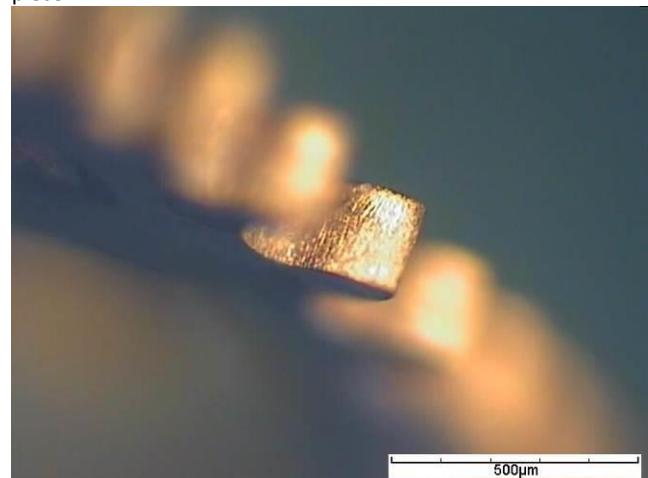
**IMAGE 23** : Motif intérieur et dents, face avant, Durnico 0.2 mm, pièce 1



**IMAGE 24** : Motif intérieur et dents, face arrière, Durnico 0.2 mm, pièce 2



**IMAGE 25** : Denture, profil, Durnico 0.2 mm, pièce 2



**IMAGE 26** : Denture, profil, Durnico 0.2 mm, pièce 2



**IMAGE 27** : Denture et motif intérieur, face avant, Durnico 0.2 mm, pièce 5



**IMAGE 28** : Denture et motif intérieur, face arrière, Durnico 0.2 mm, pièce 5

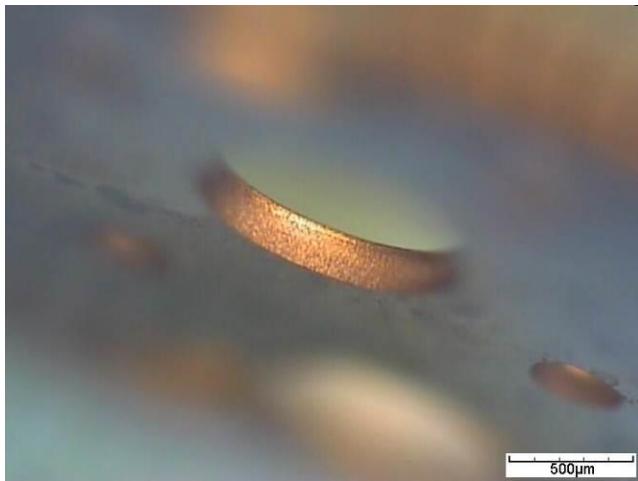


**SYNOVA**  
Ch. Dent-d'Oche  
CH-1024 Ecublens  
Suisse  
www.synova.ch

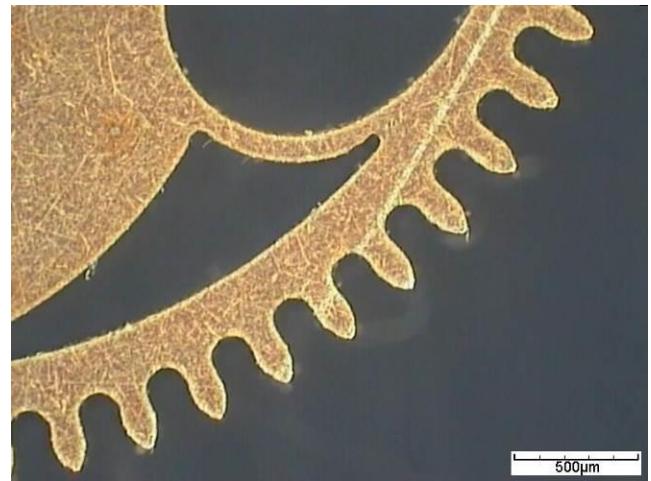
# RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 153-5  
Echantillon No: 2.2.1583

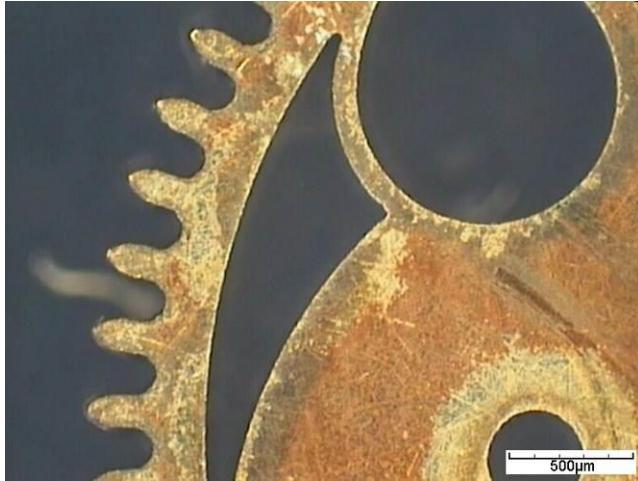
**CONFIDENTIEL**



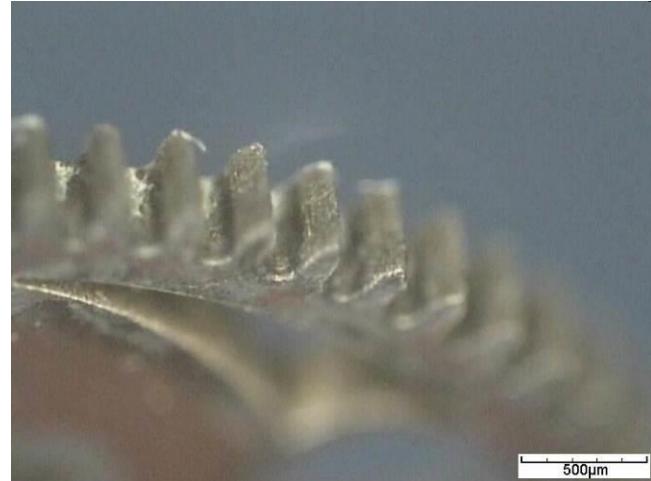
**IMAGE 29** : Profil intérieur, Durnico 0.2 mm, pièce 5



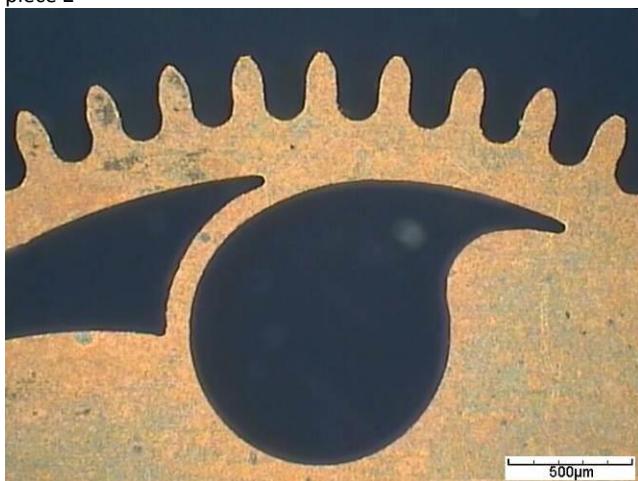
**IMAGE 30** : Denture et motif, face avant, Durnico 0.45 mm, pièce 2



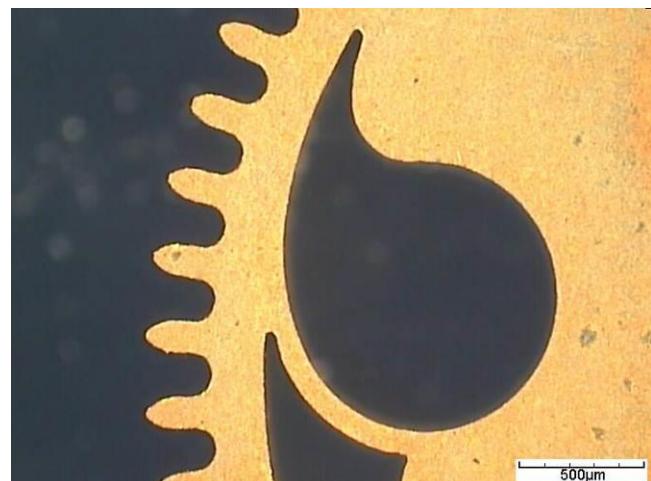
**IMAGE 31** : Denture et motif, face arrière, Durnico 0.45 mm, pièce 2



**IMAGE 32** : Denture, Profil, Durnico 0.45 mm, pièce 2



**IMAGE 33** : Denture et motif, face avant, CuBe 0.4mm, pièce 2



**IMAGE 34** : Denture et motif, face avant, CuBe 0.4mm, pièce 2



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

# RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 153-5  
Echantillon No: 2.2.1583

**CONFIDENTIEL**

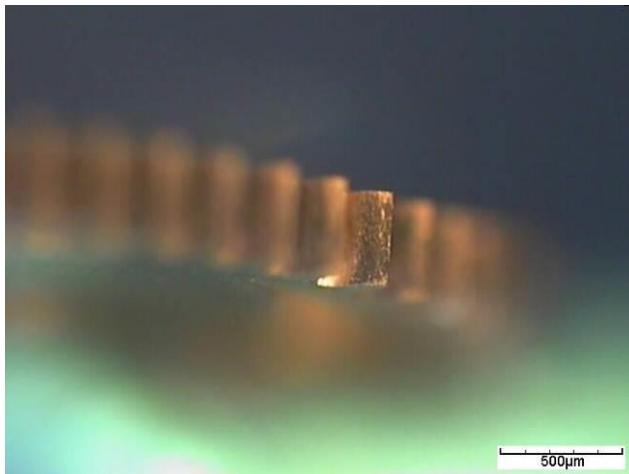


IMAGE 35 : Denture, profil, CuBe 0.4mm, pièce 2

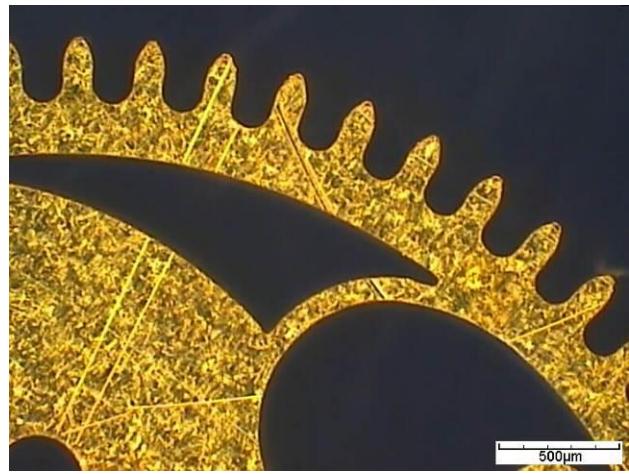


IMAGE 36 : Denture et motif, face avant, Laiton 0.45mm, pièce 2

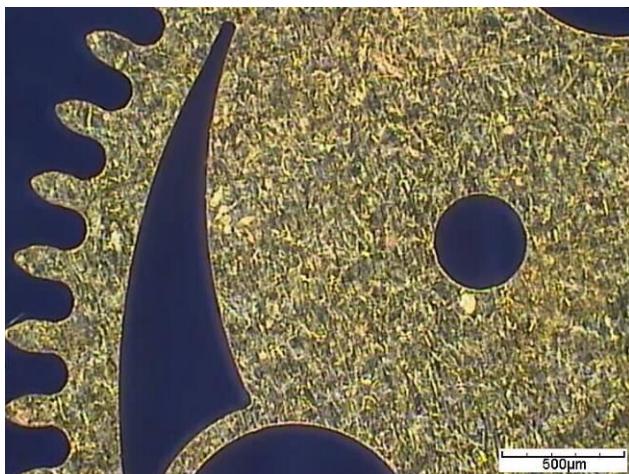


IMAGE 37 : Denture et motif, face arrière, laiton 0.45mm, pièce 2

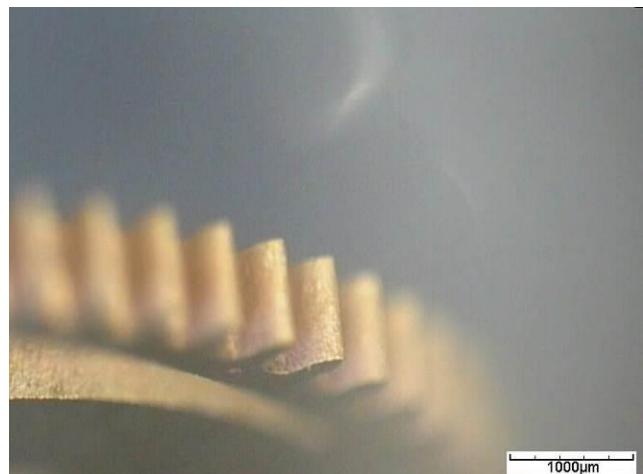


IMAGE 38 : Denture, profil, laiton 0.45mm, pièce 2



**PARTIE III : DÉCOUPE DU PONT**

**III.1. Laiton 1.2mm (#3 sur Image 4 P3)**

Référence	Références images	Nombre de passes	Jeu de paramètres (laser)	Vitesse ébauche (mm/s)	Vitesse passe de finition et/ou extérieure (mm/s)	Temps de cycle
#1	-	40	1 (L51G)	10	NA	1min47sec
#2	39 à 41	44	1 (L51G)	10	NA	1min55sec
#3 et #4	42 à 44	38	1 (L51G)	10	0.2	4min38sec

Les échantillons #1 et #2 furent découpés selon une stratégie multipasse induisant une vitesse optimisée selon le paramètre laser. Cette stratégie induit une bonne rugosité mais peut néanmoins présenter un rayon d'entrée en matière non désiré.

4 passes de coupe supplémentaires ont été nécessaires à la pièce #2 pour obtenir une découpe traversante sur le trou de diamètre 0.6mm (perturbation du jet d'eau lors de la trépanation induisant un taux d'ablation réduit).

Concernant les échantillons #3 et #4, une passe de finition peut être ajoutée sur un contour extérieur dès lors que la pièce n'est pas totalement découpée (ici 38/44 de la pièce est découpée). Il conviendra donc dans ce cas d'appliquer une passe de finition aux côtes finales de la pièce.

Cette technique optimise la qualité de flanc et réduit le rayon d'entrée (face avant) au détriment du temps de cycle.

**RÉSULTATS**

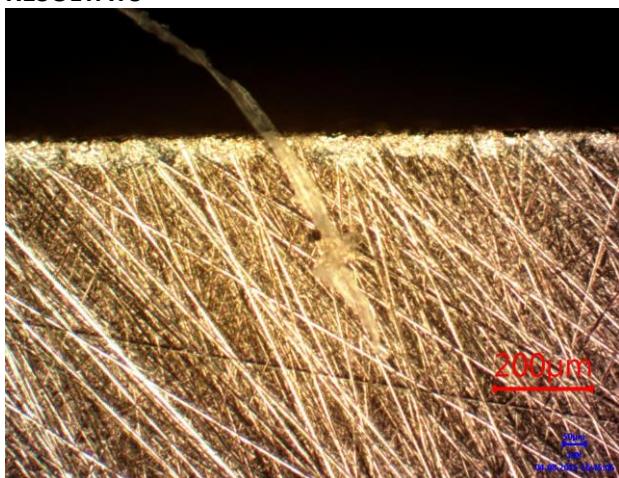


IMAGE 39 : Face avant, laiton 1.2mm, pièce 2

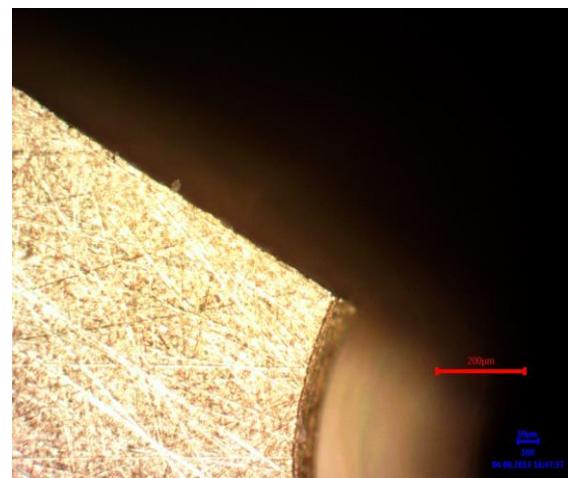


IMAGE 40 : Face arrière, laiton 1.2mm, pièce 2

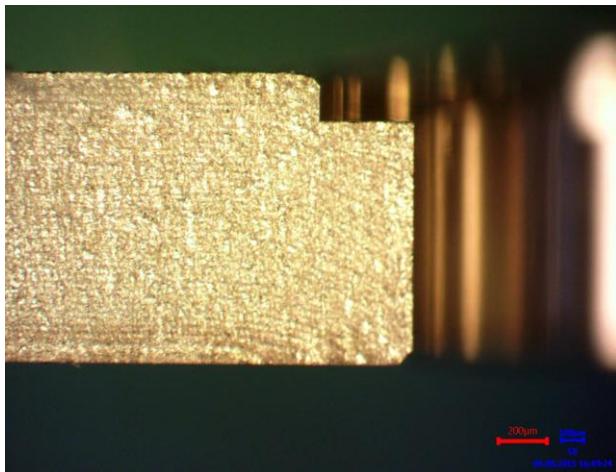


**SYNOVA**  
Ch. Dent-d'Oche  
CH-1024 Ecublens  
Suisse  
www.synova.ch

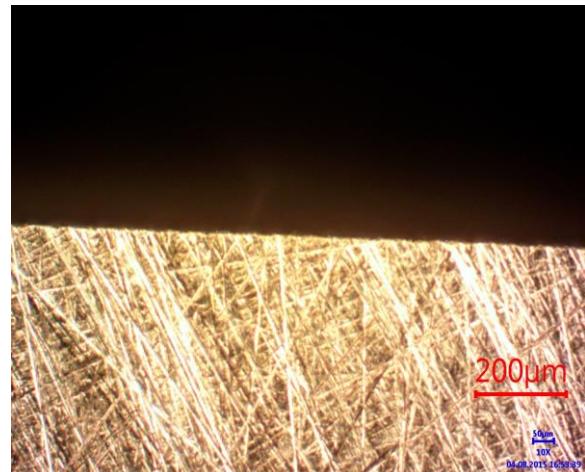
# RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 153-5  
Echantillon No: 2.2.1583

**CONFIDENTIEL**



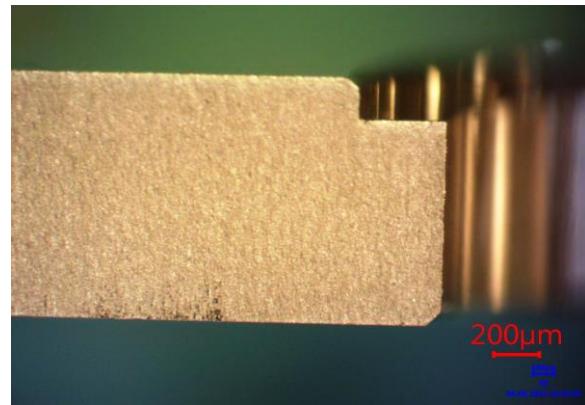
**IMAGE 41** : Flanc de coupe, laiton 1.2mm, pièce 2



**IMAGE 42** : Face avant, laiton 1.2mm, pièce 4



**IMAGE 43** : Face arrière, laiton 1.2mm, pièce 4



**IMAGE 44** : Flanc de coupe, laiton 1.2mm, pièce 4



# RAPPORT D'APPLICATION

**CONFIDENTIEL**

Au long de ces expériences, nous avions pour objectif d'optimiser uniquement la rugosité de bordure et la dimension des pièces. Les faces avant et arrière sont néanmoins de très bonne qualité; aucune bavure ni éclat n'a été observé.

	Vos priorités	Quantification des résultats
• Vitesse / Débit:	X / priorité 2	- Pont : 1min47s à 4min38s - Ressort : 2min29s à 5min15s - Roue : 6min25s à 28min07s
• Tolérances, précision :	X / priorité 1	A quantifier(*)
• Rugosité des bords : (Ra)	X / priorité 1	0.25µm < Ra < 0.8 µm
• Largeur de coupe:	X / priorité 2	~30 µm
• Zone affectée thermiquement (ZAT):	X / priorité 2	A quantifier* <5 µm visuellement
• Contamination/Particules:	X / priorité 2	Nettoyage bac ultrasonique

\*Toutes les évaluations ont été réalisées par analyse optique. Des analyses de tenue mécanique (résistance à la rupture, fatigue etc) doivent être réalisées pour évaluer l'impact de la découpe par Laser Microjet.



## **CONCLUSION**

Les découpes de différents substrats métalliques (Durnico, laiton et CuBe2 de différentes épaisseurs) ont été réalisées selon 3 différents tracés. Les paramètres de chacun ont été optimisés selon un compromis vitesse/qualité.

Pour cela, nous avons utilisés sur une machine SYNOVA LCS 300 qui utilise la technologie du Laser MicroJet®. Celle-ci 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 30 µm de diamètre. Le laser est utilisé pour l'ablation du matériau. Le jet d'eau, guide le faisceau laser, refroidit le bord de découpe et évacue les particules sublimées.

Ces tests montrent que:

- Il est possible de couper 3 matériaux sous différentes épaisseurs avec la même configuration de machine en une voire 2 étapes pour chacun (avec 2 différents lasers).
- Le temps de découpe est variable selon la qualité exigée.
- Le procédé est stable et montre une excellente répétabilité.
- La découpe ne fait apparaître ni bavure ni éclat sur aucune des faces.

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

- L'homogénéité de la rugosité sur le flanc de découpe.
- La vitesse moyenne de découpe.
- L'amélioration du trajet du laser.

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

Nous serions heureux de pouvoir obtenir un retour pour partager nos résultats d'analyses et ainsi discuter avec vous des prochaines étapes.