
Conception et fabrication de micro-fraises à arrosage central.



Gilbert Grosjean. Directeur production et R&D.

Les acteurs du projet

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Commission pour la technologie et l'innovation CTI



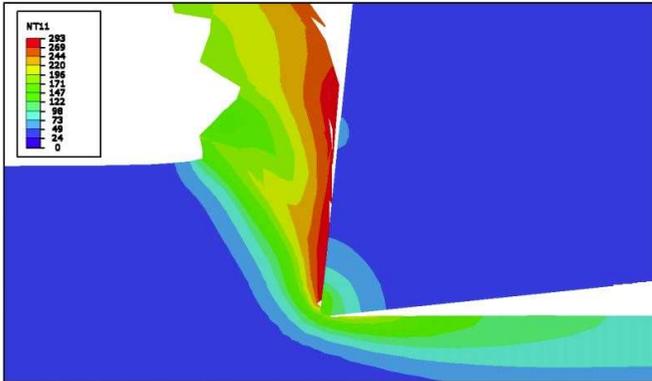
- 10 personnes à temps partiel
- 2 ans

PATENT PENDING

EP3741500A1

Table des matières

- I. Lubrification: Etat de l'art.
- II. L'arrosage par le centre de l'outil : Solution proposée.
- III. Méthodes de fabrication - Le perçage LASER.
- IV. CO2 supercritique.
- V. Quelques résultats d'usinage.

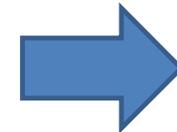


Lubrifier pour:

- Evacuer les copeaux.
- Lubrifier la zone de coupe.
- Refroidir l'outil.

A la pointe de l'outil:

- Chocs.
- Vibrations.
- Echauffement.



USURE

Amener le fluide lubrifiant à la pointe de l'outil.

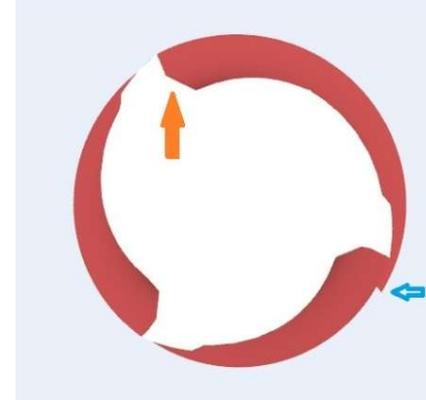
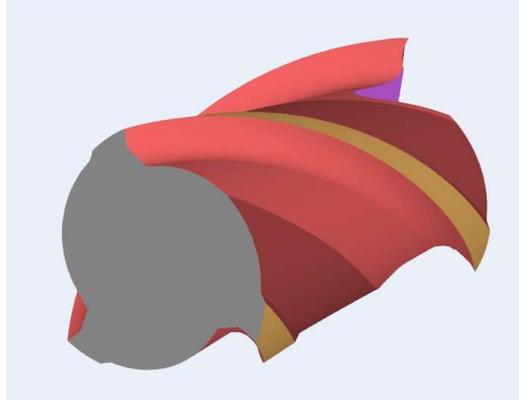
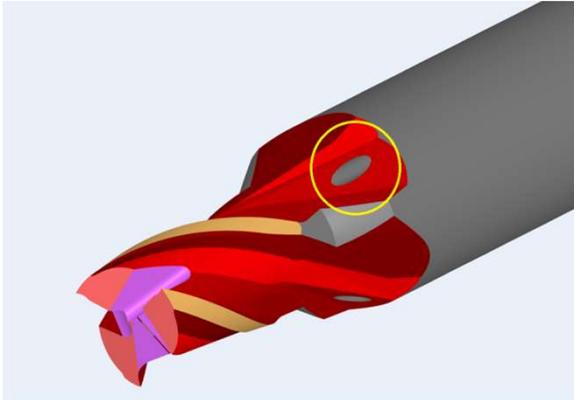
Lubrification classique.



- Pointe de l'outil masquée par la pièce usinée.
- Pointe de l'outil masquée en rainurage.

Sur certaines machines: Possibilité de piloter et programmer les jets en fonction de la longueur de l'outil et de son parcours.

Idée: Lubrification par le cône.



Rainurage et poche

- Pointe de l'outil masquée par la pièce usinée.
- Pointe de l'outil masquée par l'outil (3D) .
- Force centrifuge.
- Flux de réfrigérant à contre courant des copeaux.

Lubrification par le porte-outil.



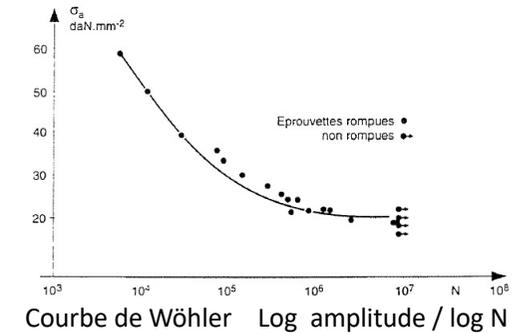
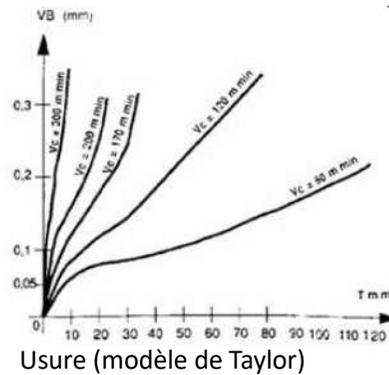
- Adaptable en fonction de la longueur de l'outil.
- Valable avec des outils standards.

Idée: Passer par centre.



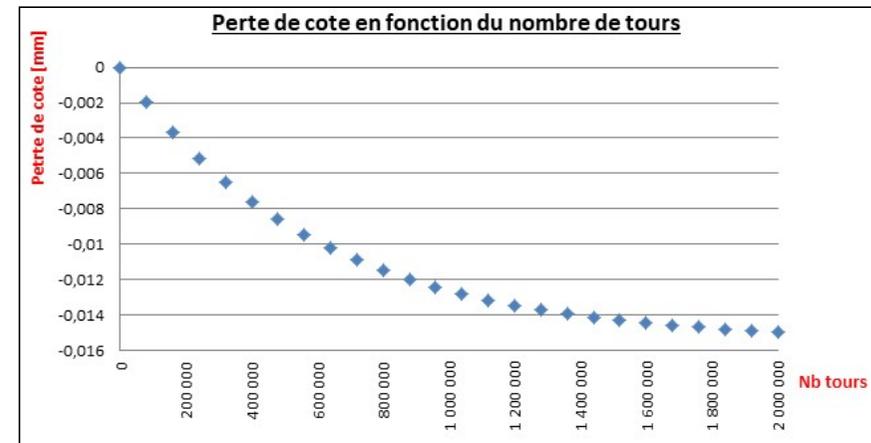
- Plus de coupe au centre.
- Inutile en contournage.

Idée: Passer par le centre des dents comme pour les forets.



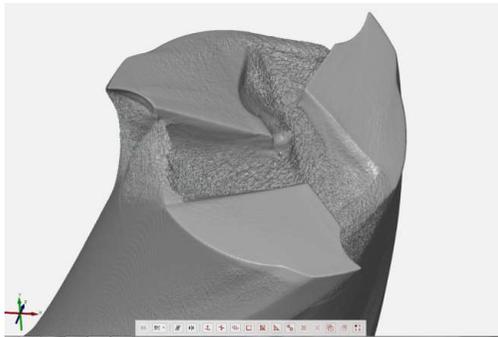
Diminution importante de la :

- Résistance à la flexion.
- Résistance à la torsion.
- Résistance à la fatigue.

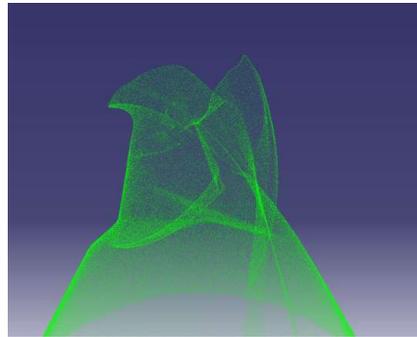


L'arrosage par le centre de l'outil : Solution proposée

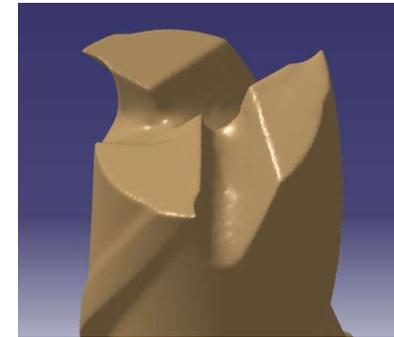
Simulation par éléments finis.



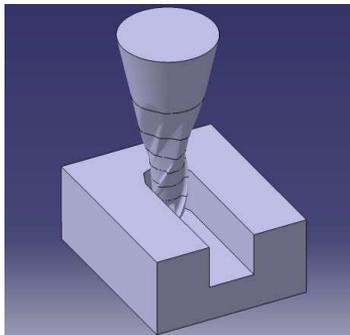
Scanner par tomographie de la fraise



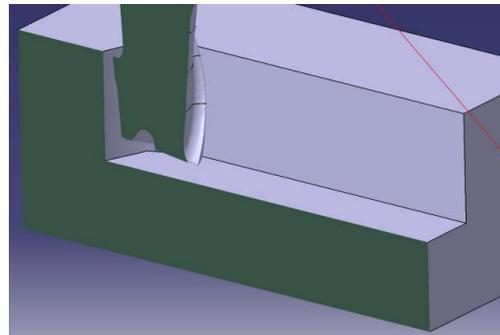
Import du fichier *stl*



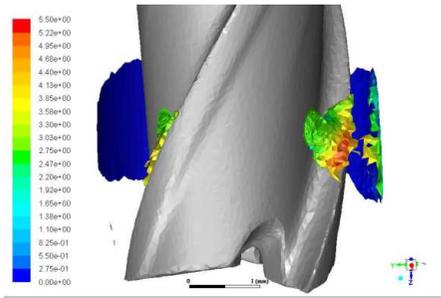
Maillage du nuage de points



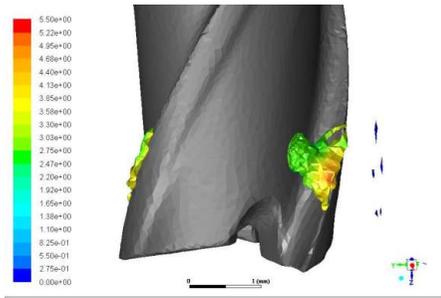
Conditions de simulation



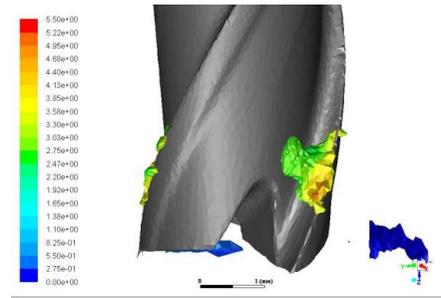
L'arrosage par le centre de l'outil : Solution proposée



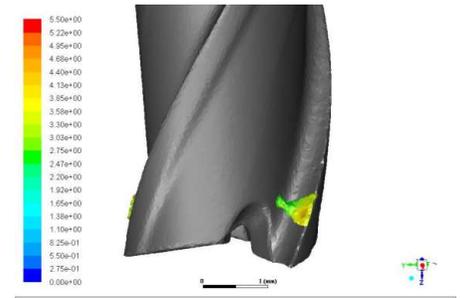
Contours of Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=1.0000e-03)
ANSYS Fluent Release 17.2 (3d, dp, pbns, vof, sstkw, transient)



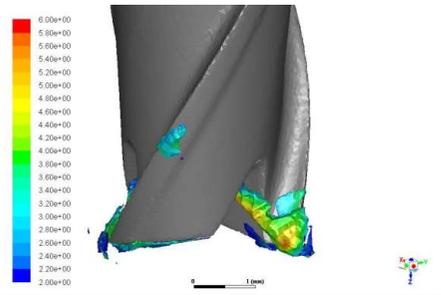
Contours of Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=1.0000e-03)
ANSYS Fluent Release 17.2 (3d, dp, pbns, vof, sstkw, transient)



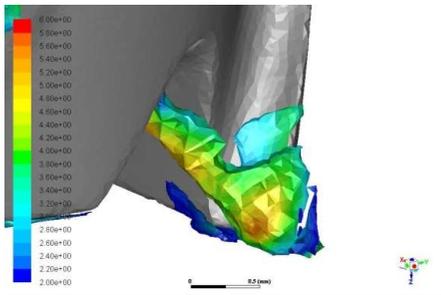
Contours of Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=8.0000e-03)
ANSYS Fluent Release 17.2 (3d, dp, pbns, vof, sstkw, transient)



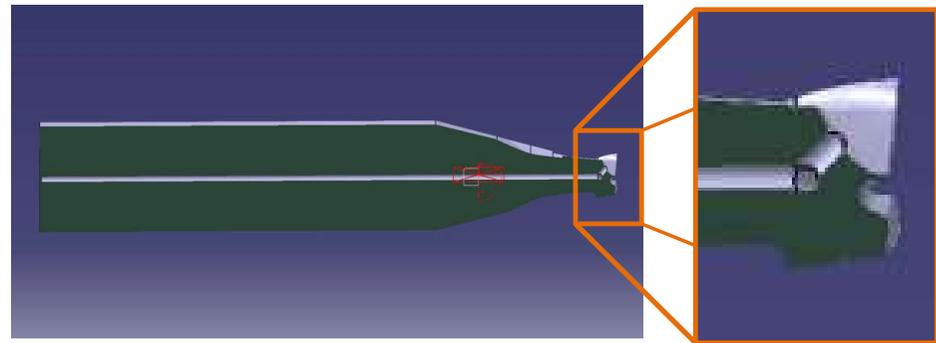
Contours of Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=1.0000e-03)
ANSYS Fluent Release 17.2 (3d, dp, pbns, vof, sstkw, transient)



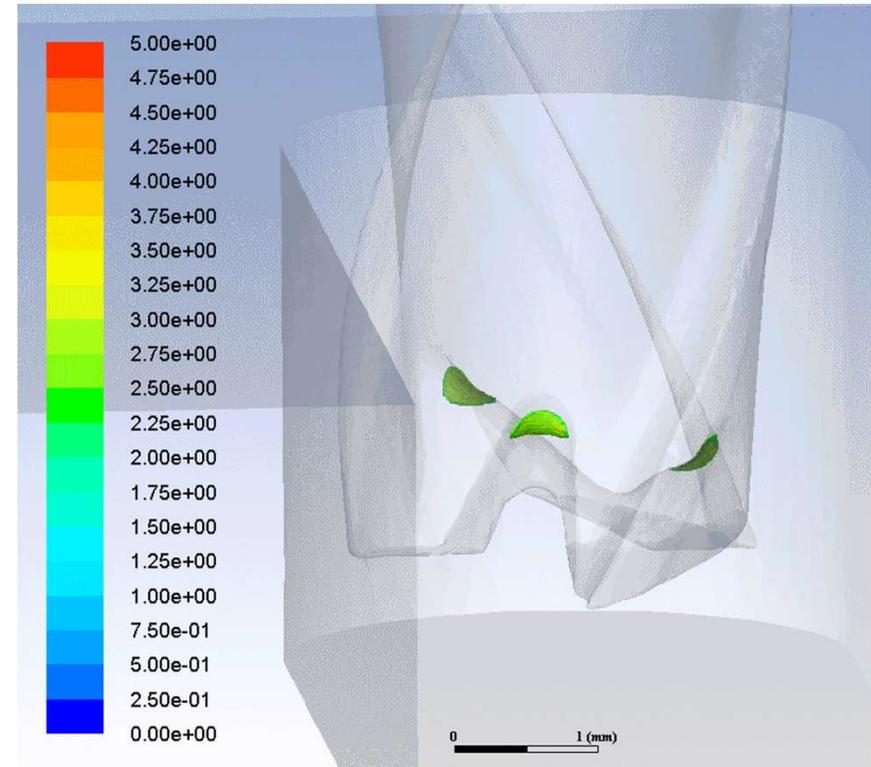
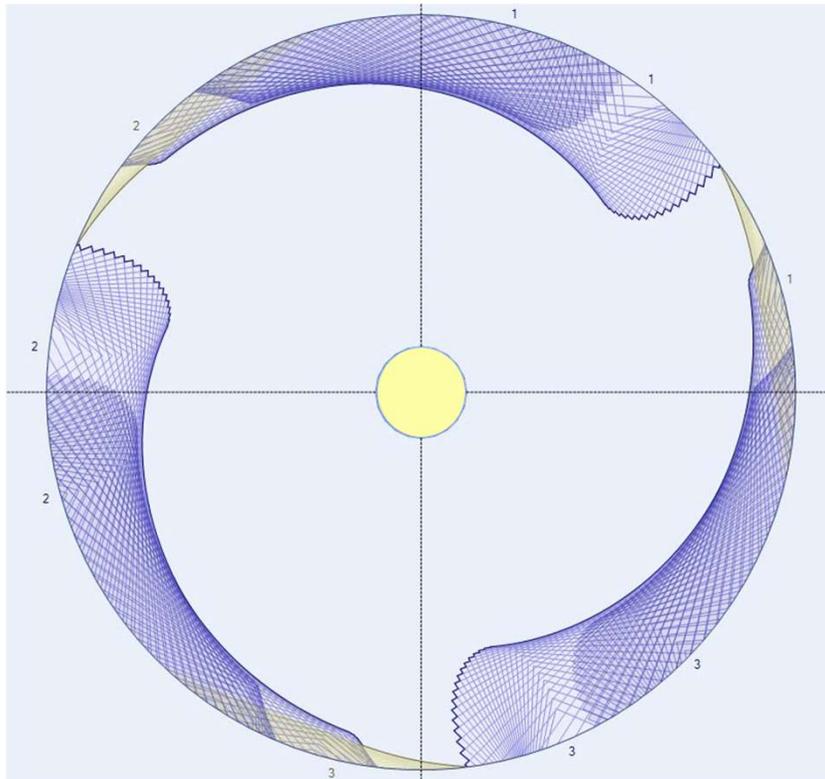
Contours of Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=1.3750e-02)
ANSYS Fluent Release 17.2 (3d, dp, pbns, vof, sstkw, transient)



Contours of Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=1.3750e-02)
ANSYS Fluent Release 17.2 (3d, dp, pbns, vof, sstkw, transient)



L'arrosage par le centre de l'outil : Solution proposée



Vérification des déformations

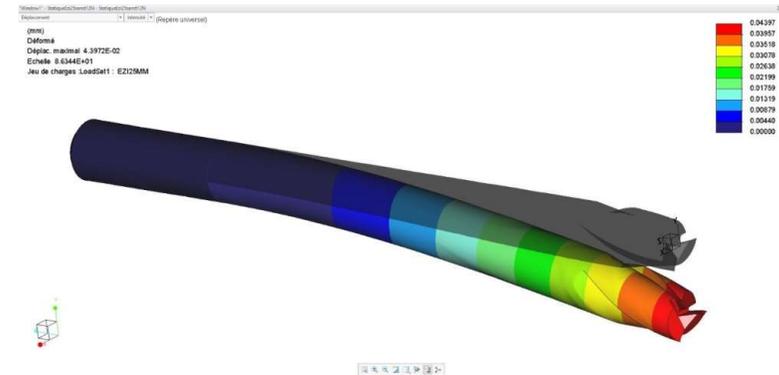
Matériau utilisé E25UF; caractéristiques :

- Module de Young (E): 594 GPa
- Module de cisaillement (G): 241 GPa
- Coefficient de Poisson : 0.24

Flèche et angle de torsion, équations utilisées :

$$f = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_z} \quad I_z = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4)$$

$$\alpha = \frac{M \cdot L}{G \cdot I_0} \quad I_0 = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = \frac{\pi}{32} \cdot (D^4 - d^4)$$



Résultat de la flèche et de l'angle de torsion, sans et avec trou d'arrosage :

Sans trou	Avec trou	Sans trou (CAO)	Avec trou (CAO)
f = 0.044 mm	f = 0.044 mm	f = 0.04397 mm	f = 0.04401 mm
$\alpha = 0.013^\circ$	$\alpha = 0.013^\circ$		

L'arrosage par le centre de l'outil : Solution proposée

Méthodes de fabrication

Création d'un trou borgne central

Diamètre: 0.3 mm
Longueur: ~ 37 mm



Perçage sur du MD fritté: Impossible
Perçage sur du MD préfritté: Impossible

Extrusion : Facile.

Création des canaux latéraux

Diamètre: 0.05 à 0.3 mm
Longueur: 0.15 à 1.5 mm



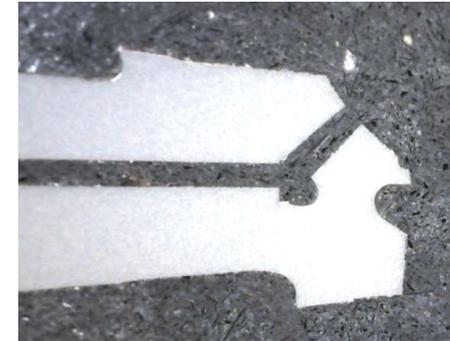
Perçage sur du MD fritté: Impossible.
Perçage sur du MD préfritté : Possible.
Electroérosion: Difficile (impact thermique).

Laser: Idéal.

L'arrosage par le centre de l'outil : Méthode de fabrication



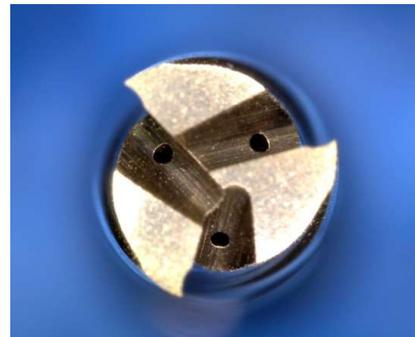
Taillage de la microfraise (d=1 mm)



Perçage des canaux par LASER



D = 2.5 mm



D = 1.5 mm

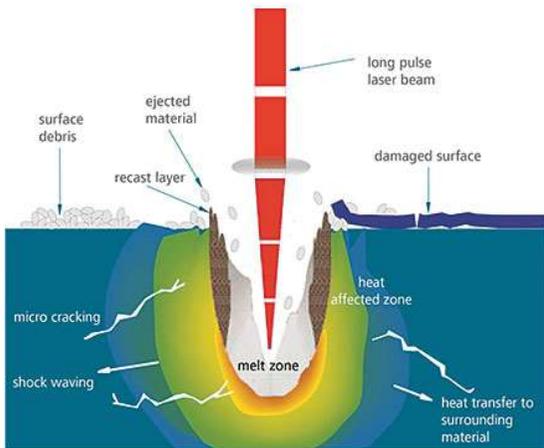
- Canal central fixe.
- Diamètres de perçage Laser adaptés au diamètre de l'outil $\sim 0.1 * D$.

L'arrosage par le centre de l'outil : Perçage LASER

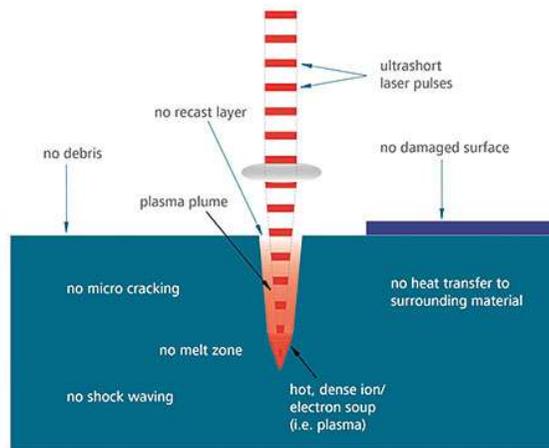


L'arrosage par le centre de l'outil : Perçage LASER

Application with long pulse laser (e.g. μs)



Application with ultra short pulse laser (e.g. fs)



Différence entre un laser à impulsion longue et à impulsion courte
source : <https://lenoxlaser.com/blog/what-is-laser-drilling/>

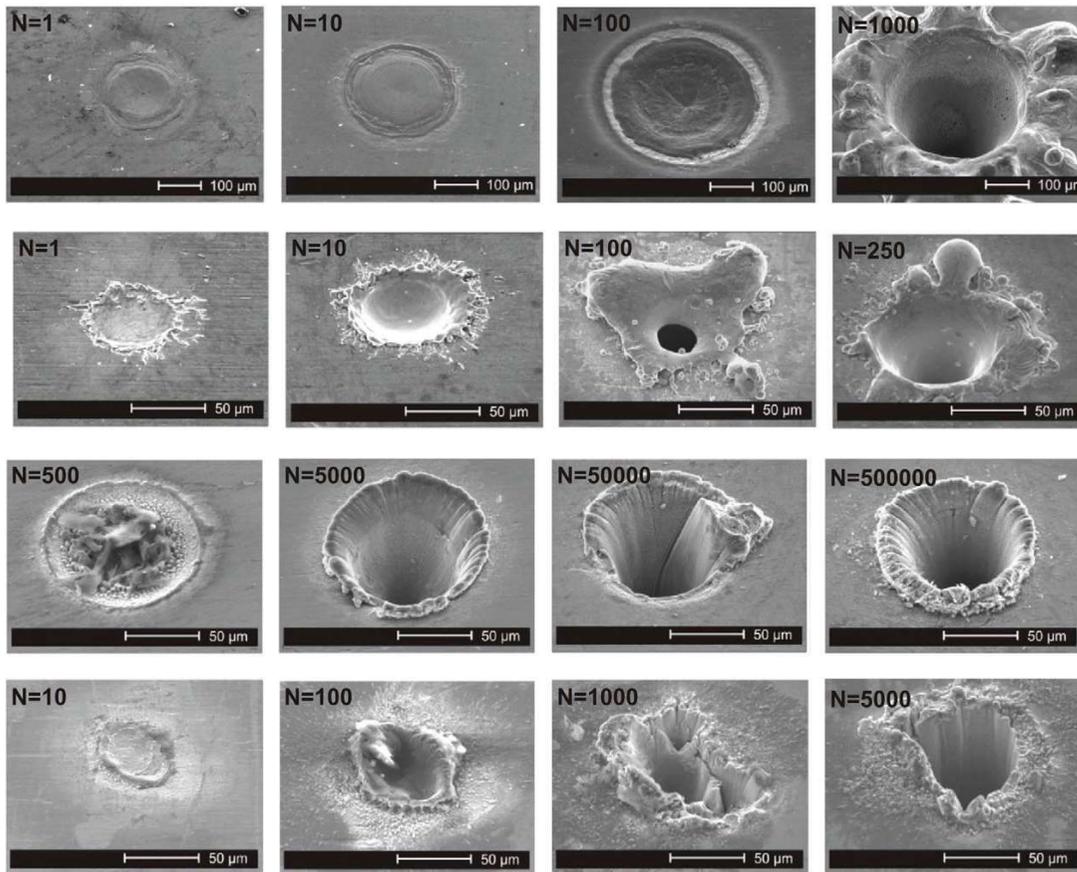
Perçage LASER

- Processus violent.
- Fusion des matériaux.
- Evaporation.
- Redéposition en surface.
- Création de microfissures.

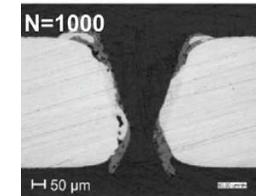
Paramètres LASER

- Durée des impulsions.
- Fréquence des impulsions.
- Puissance.
- Longueur d'onde.

L'arrosage par le centre de l'outil : Perçage LASER



micro



nano



pico

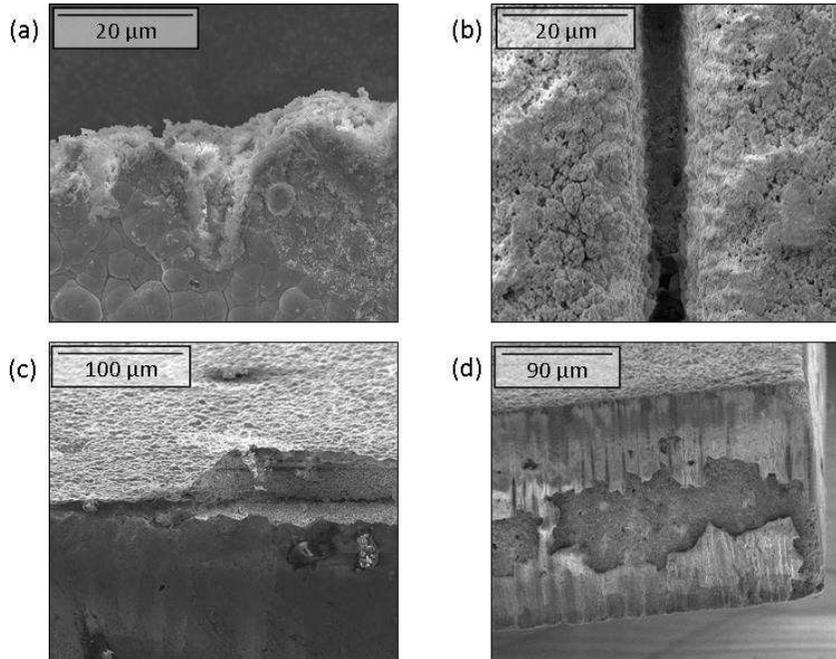


femto

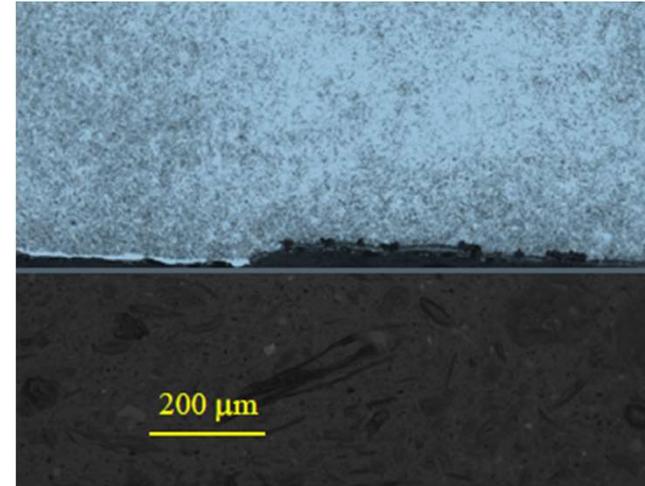


Metal Ablation with Short and Ultrashort Laser Pulses
 Physics Procedia 12 (2011) 230–238

L'arrosage par le centre de l'outil : Perçage LASER



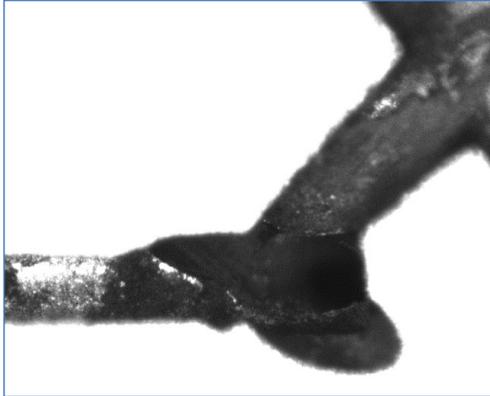
- (a) Bords de coupe irréguliers.
- (b) Dépôts en surface.
- (c) Soulèvement de la couche
- (d) Ecaillage des bords.



Nécessité de percer par pulses ultra courts :
Utiliser un LASER femto.

- Adapter la fréquence à la nuance de métal dur.

L'arrosage par le centre de l'outil : Méthode de fabrication



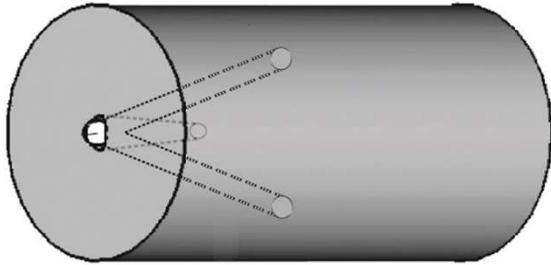
Problèmes rencontrés

- Condensation des vapeurs métalliques dans la zone froide.
- Création d'un bouchon dans le canal central ou les canaux adjacents.
- Risque de dépassement du perçage.

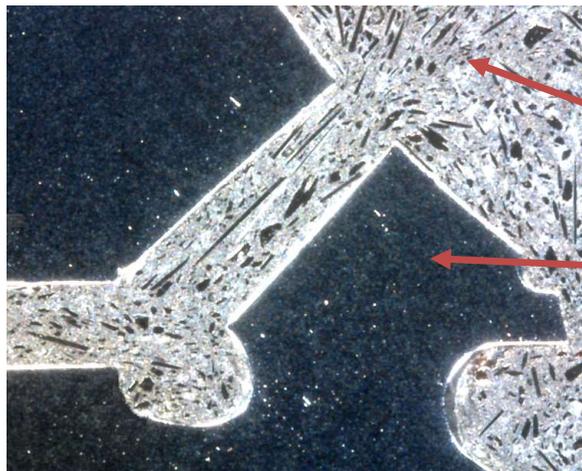


- Amélioration par balayage / aspiration des vapeurs métalliques.
- Globalement très difficile d'obtenir des trous sans dépôt.
- Chaque canal doit être contrôlé individuellement.
- Méthode trop coûteuse.

L'arrosage par le centre de l'outil : Méthode de fabrication

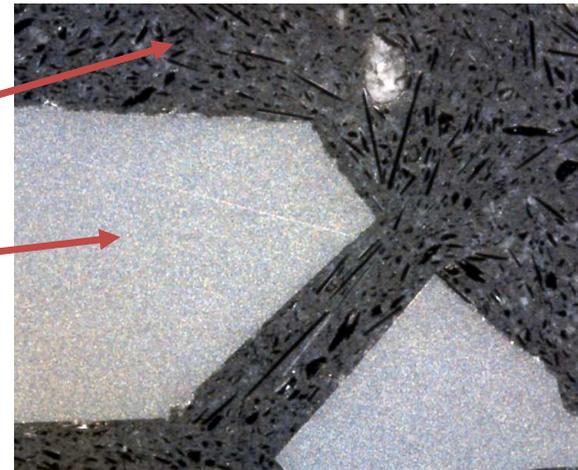


- Perçage LASER du bouchon.
- Assemblage à haute température.
- Taillage fraise.



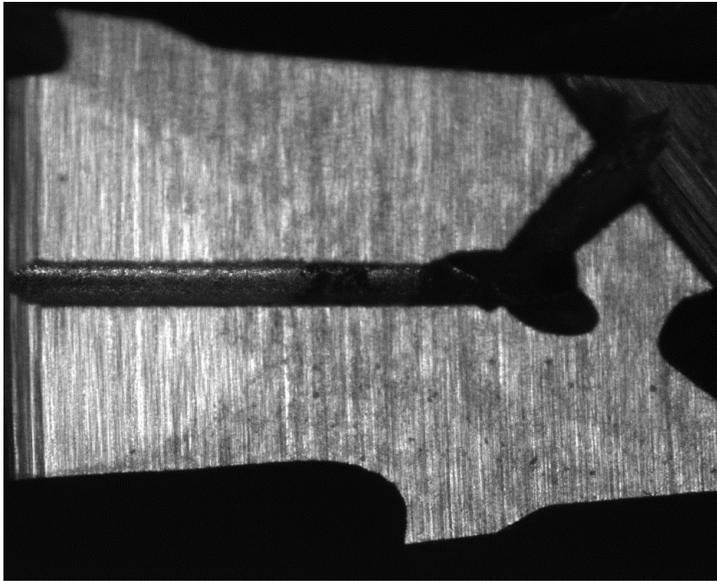
Bakelit

Métal dur



Microfraise z3
D=2.5 mm
d=0.24 mm
Traitement Murakami

L'arrosage par le centre de l'outil : Méthode de fabrication

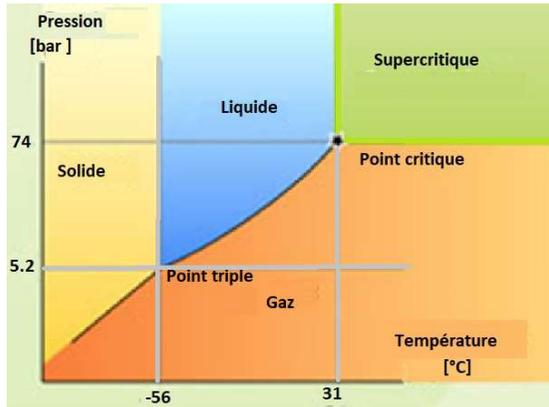


28036-2.5

Pression [bars]	Débit[ml / min]
5	40
40	300
100	700

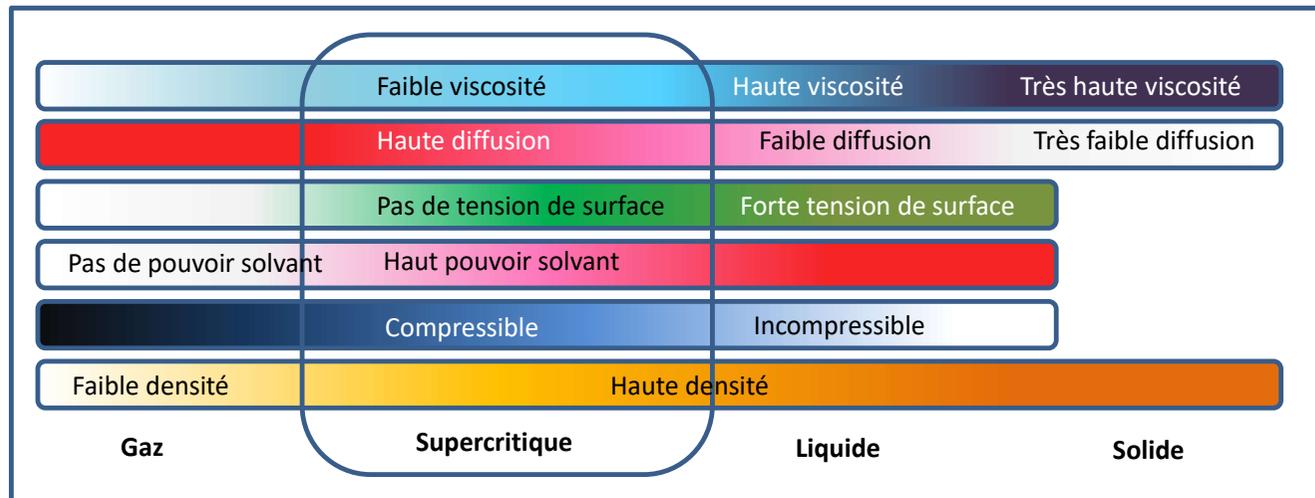
Débit H2O, outil seul.

L'arrosage par le centre de l'outil : CO2 supercritique



Etat fluide supercritique :

Etat de la matière soumise à une forte pression et à une forte température. On parle de fluide supercritique lorsqu'un fluide est chauffé au-delà de sa température critique et lorsqu'il est comprimé au-dessus de sa pression critique.



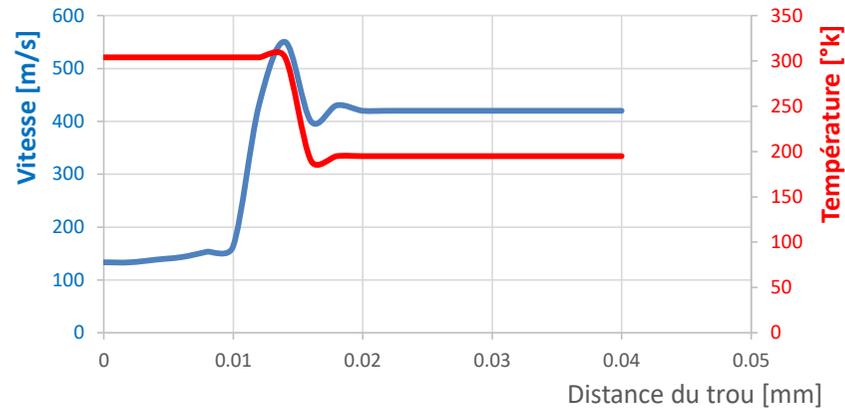
L'arrosage par le centre de l'outil : CO2 supercritique

Intérêts pour l'usinage:

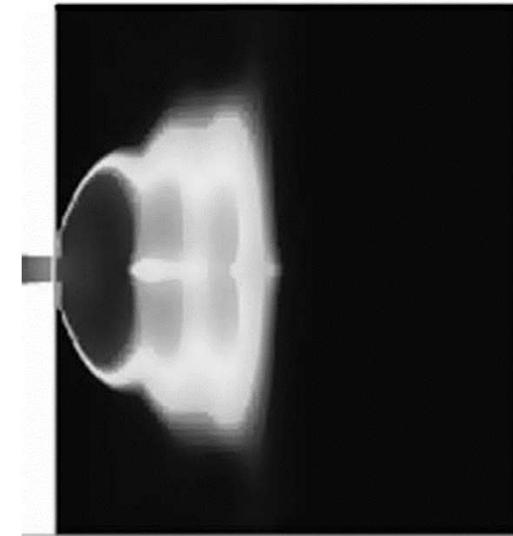
- ✓ Excellent liquide de refroidissement à haute pression. Limite fortement l'échauffement de l'outil. Sortie de buse jusqu'à -70°C.
- ✓ Lubrifiant aussi efficace qu'un liquide classique.
- ✓ Peut être additionné d'un faible ajout d'huile (~ 1 ml / min), soluble dans CO2 SC .
- ✓ Pièces usinées et copeaux propres et secs.
- ✓ Pas d'obstruction de conduite.
- ✓ Coût de production réduit si le débit est maîtrisé.
- ✓ Neutre pour l'environnement (CO2 recyclé).

L'arrosage par le centre de l'outil : CO2 supercritique

Détente CO2 SC à travers un trou de 0.3mm



Disques de Mach



International Journal of Thermal Sciences * Ali Ben Moussa

Détente supercritique:

- CO2 SC passe rapidement à l'état gazeux.
- Successions de compressions et décompressions / disques de Mach.
- Recristallisation de l'huile en nano particules en quelques millisecondes.

L'arrosage par le centre de l'outil : CO2 supercritique

CO2 SC	Liquide	Gaz
Débit [l / min]	0.56	22.8
Vitesse [m/s]	133	~ 500

Fluide	Viscosité (μ Pa * s).	Débit [l / min] P =100 bars Canal \varnothing 0.3 mm
Eau	1000	0.56 Liquide
Huile	7000	0.20 Liquide
Air	18	41.1 Gaz
CO2 SC	60	22.8 Gaz



L'arrosage par le centre de l'outil : Essais d'usinage

Machines

- DMU-80
- Bumotec s191H

Lubrifiants

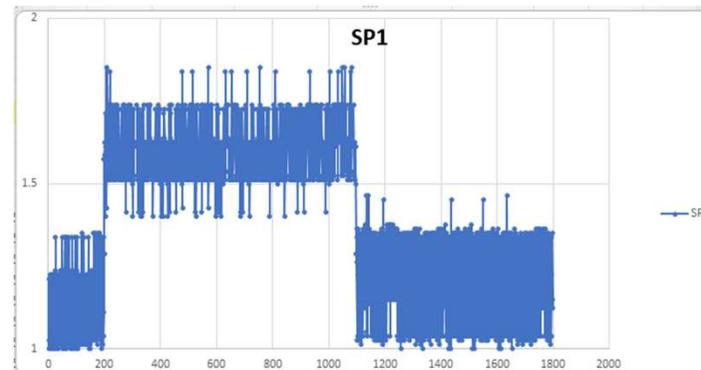
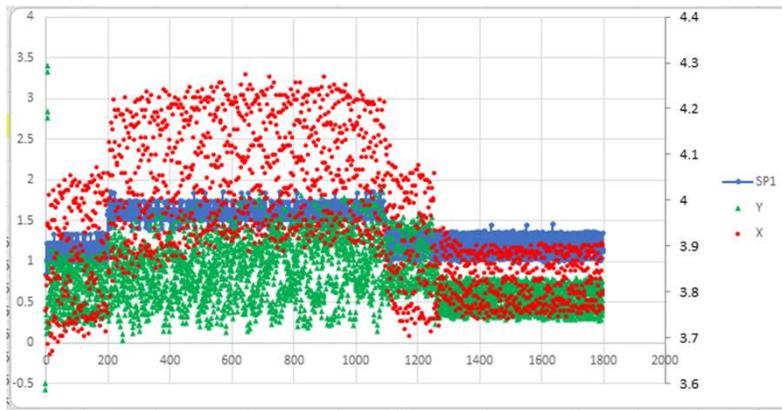
- Emulsion 5%
- Huile de coupe 100 bars max
- CO2 supercritique 100 bars + 1 ml/min huile

Outils

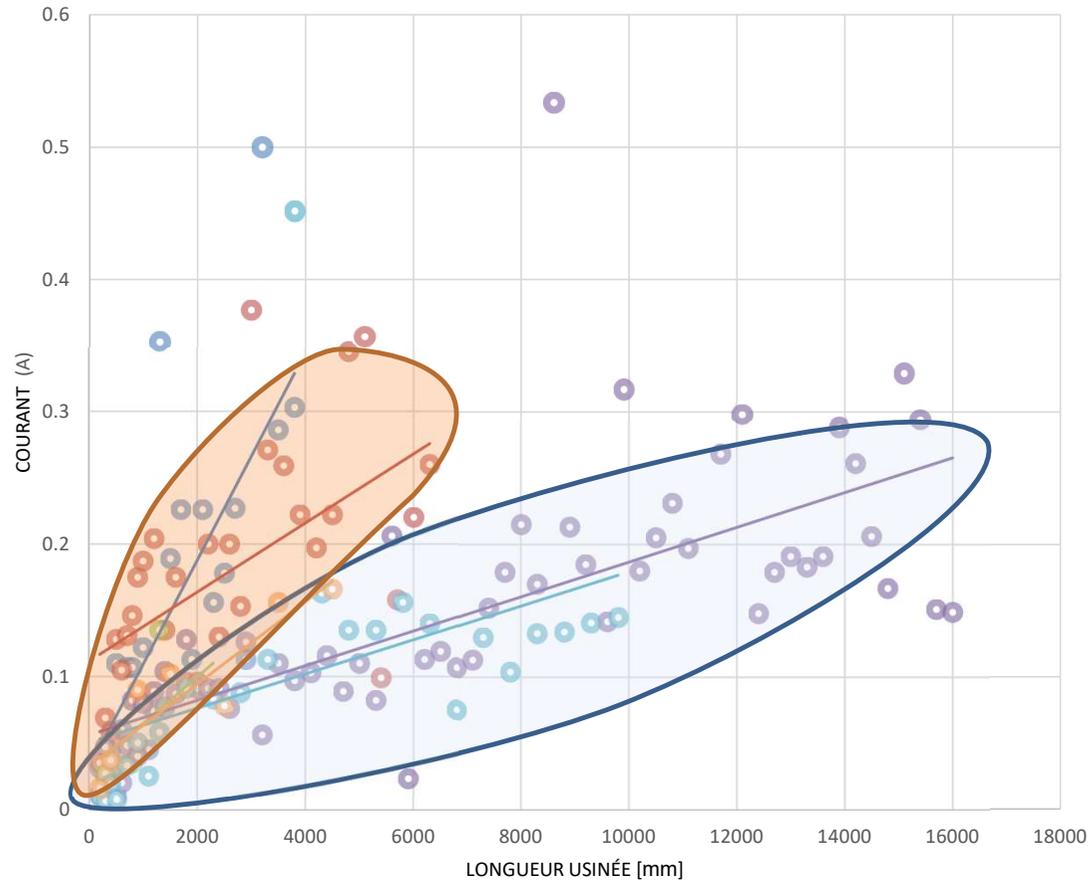
- Même lot de fabrication des barreaux
- Taillage simultané, même machine
- Revêtement: Même charge

Méthodes de mesure

Enregistrement des courants sur les axes et la broche.



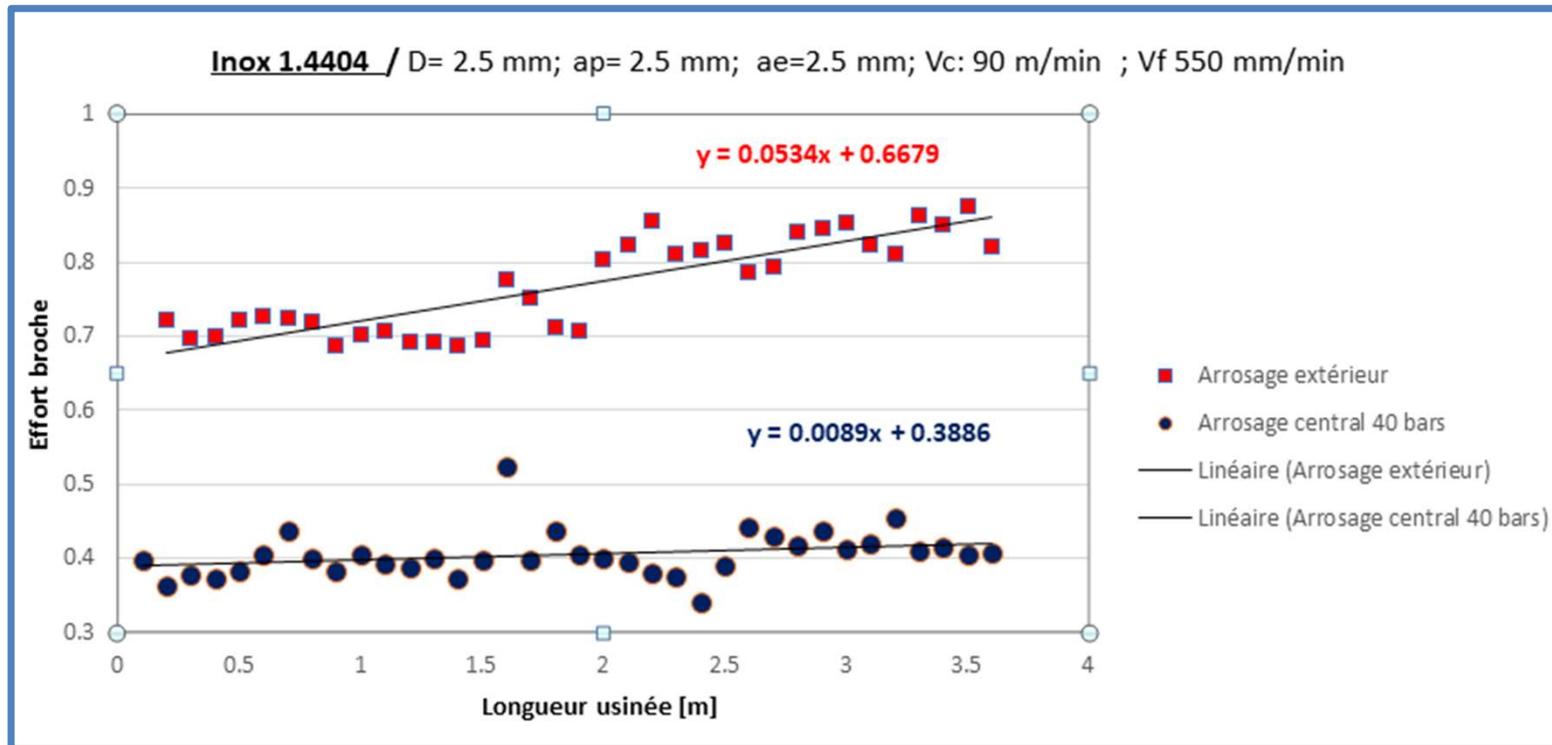
L'arrosage par le centre de l'outil : Essais d'usinage



Inox 1.4404

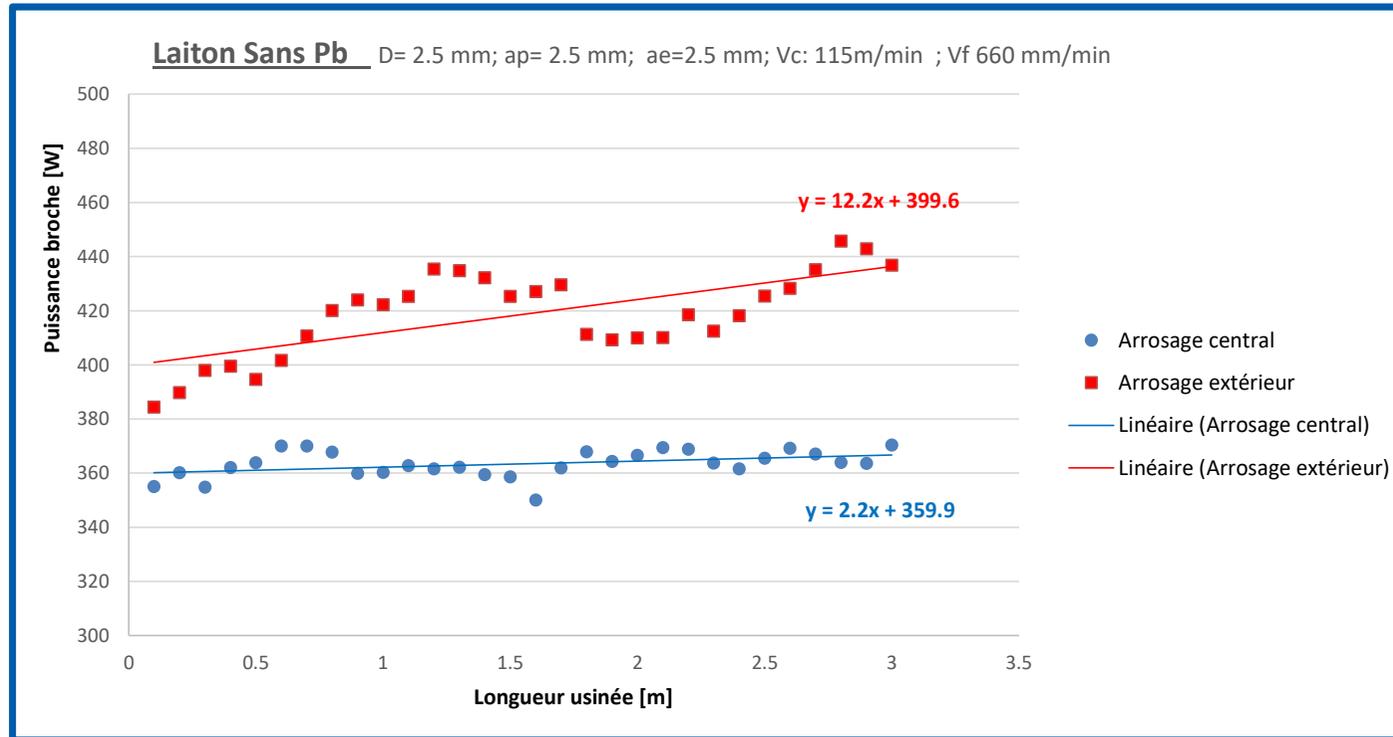
- Emulsion 5%.
- Microfraise D = 1 mm, z3, sans revêtement
- $A_e = 1,0$ [mm]
- $A_p = 0,5$ [mm]
- $V_c = 40$ [m/min]
- $F_z = 0,002$ [mm / dent]

L'arrosage par le centre de l'outil : Essais d'usinage



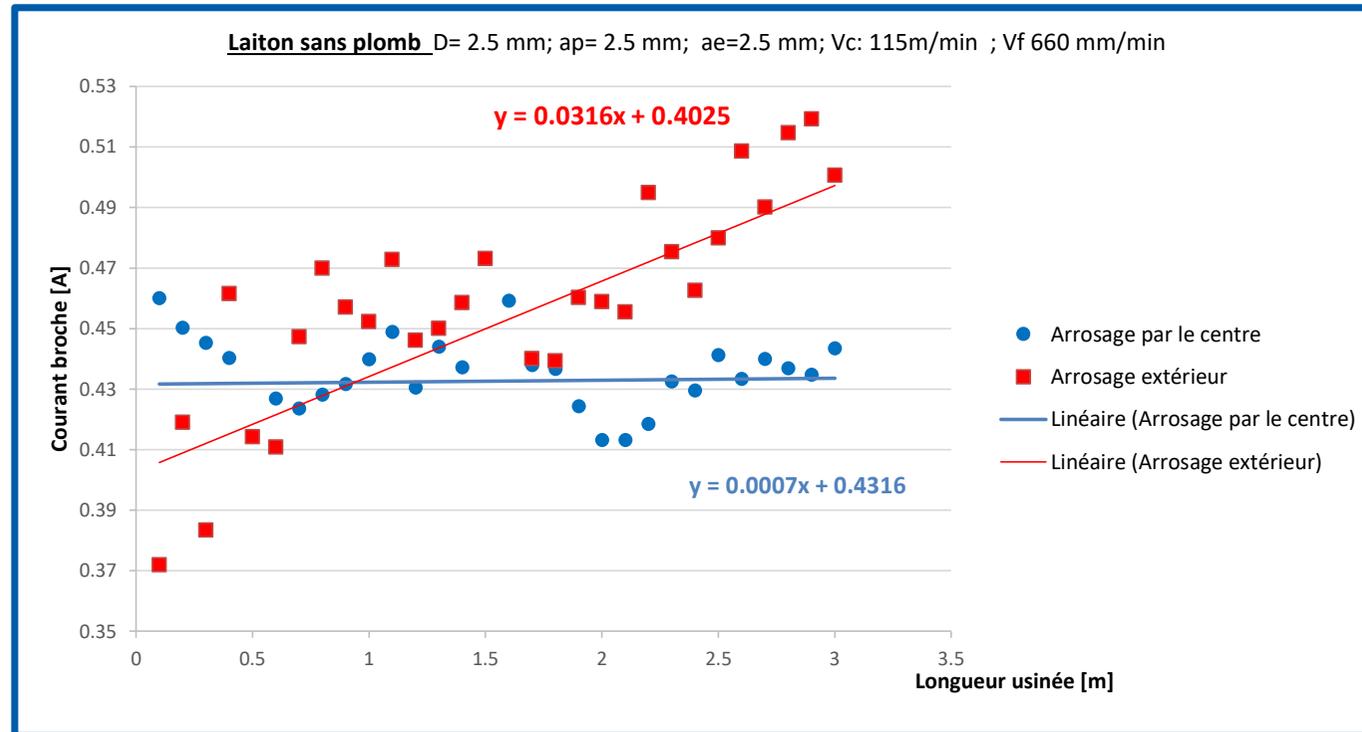
Huile: Arrosage par le centre (40 bars) ou par l'extérieur

L'arrosage par le centre de l'outil : Essais d'usinage



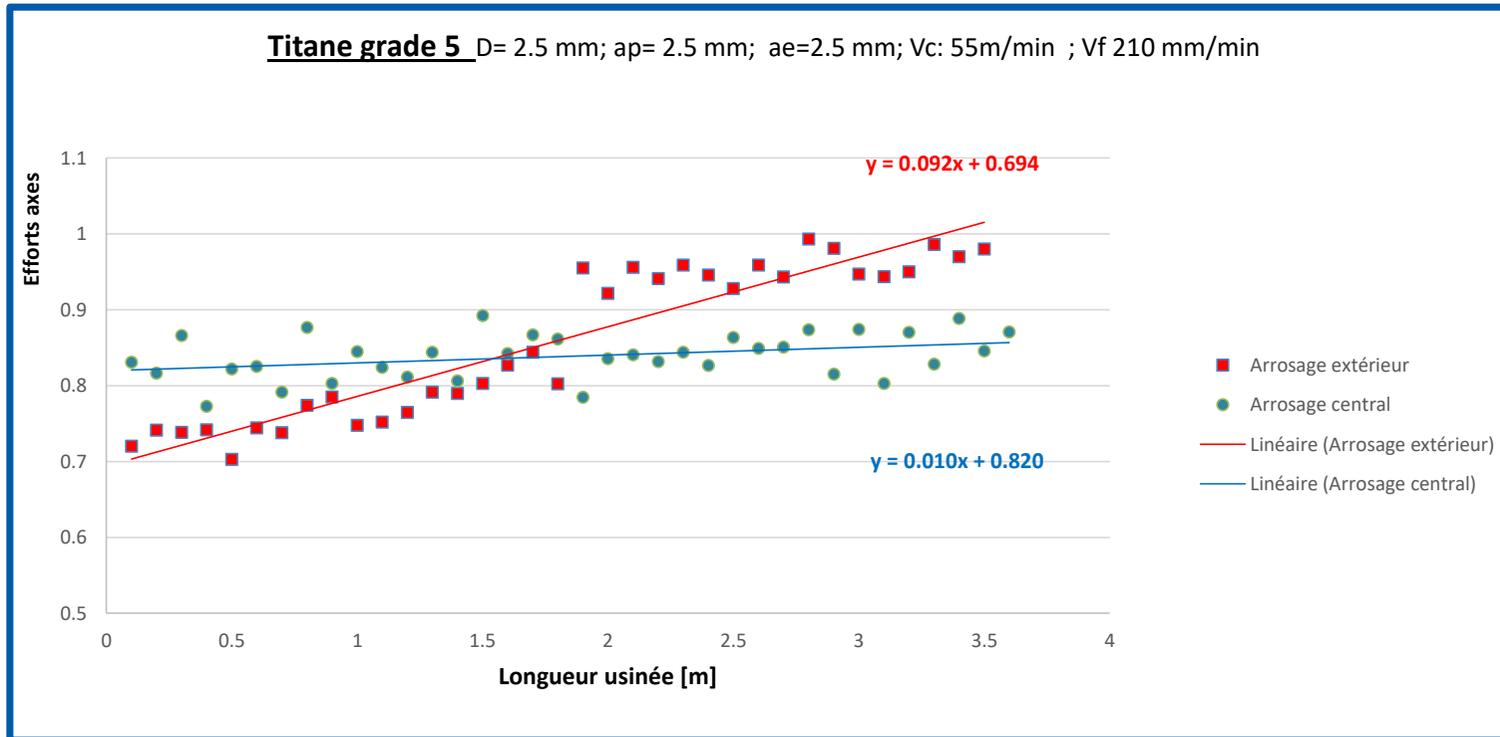
Huile: Arrosage par le centre (40 bars) ou par l'extérieur.

L'arrosage par le centre de l'outil : Essais d'usinage



Huile: Arrosage par le centre (40 bars) ou par l'extérieur.

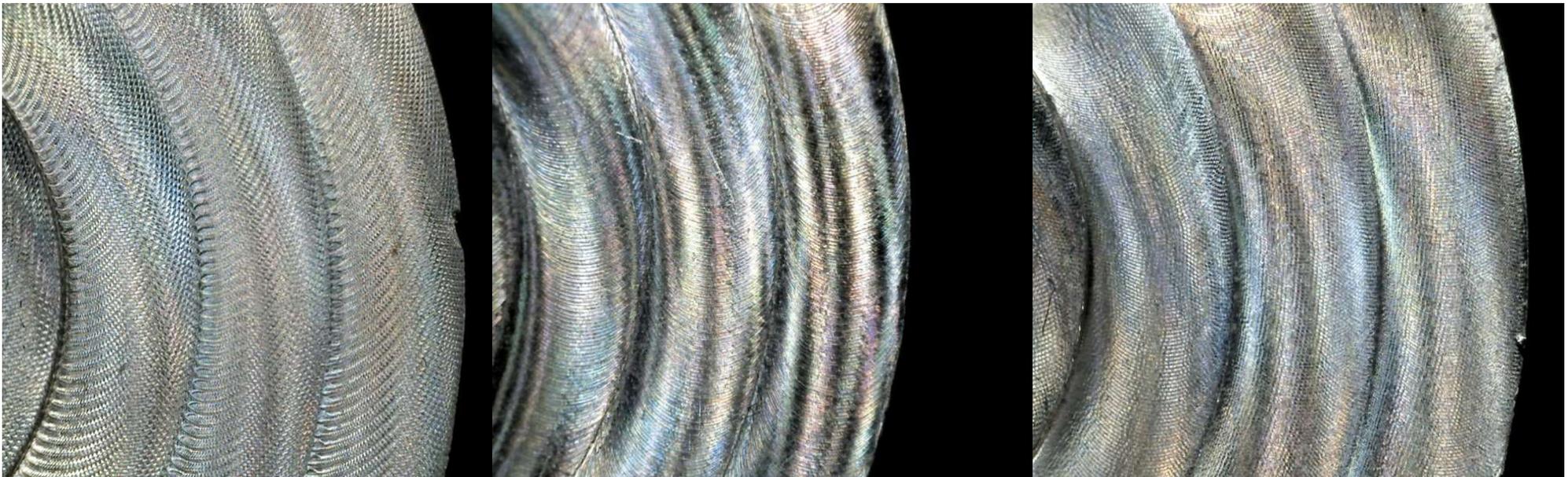
L'arrosage par le centre de l'outil : Essais d'usinage



Huile: Arrosage par le centre (40 bars) ou par l'extérieur.

L'arrosage par le centre de l'outil : Essais d'usinage

Inox 316L 28036A-2.5 Rev. Ezi-Alpha 3. $A_p = 0.75$. $A_e = 2$, $V_c = 90$, $V_f = 550$



Huile en périphérie 100 bars

$P = 49$ W

$R_a = 0.842$ μm

CO2 par le centre 100 bars (sans périphérie)

Fraise rouge Arrêt

$P = 109$ W

$R_a = 0.682$ μm

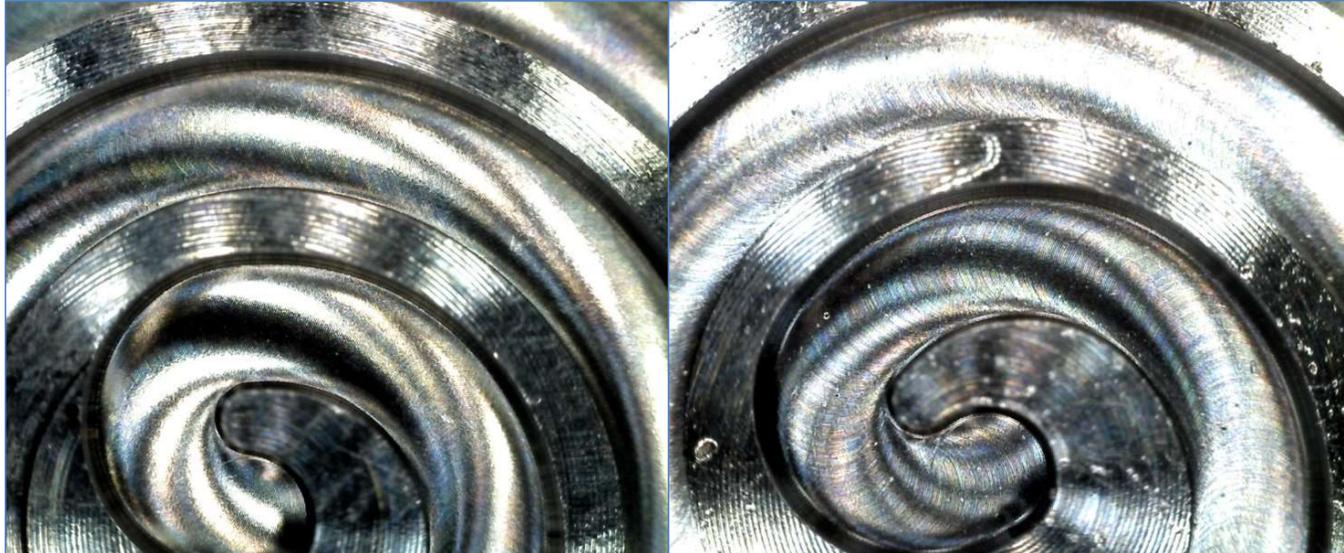
Huile par le centre 100 bars (sans périphérie)

$P = 64$ W

$R_a = 0.491$ μm

L'arrosage par le centre de l'outil : Essais d'usinage

Titane grade 5 28525A-2.0 Rev. Ezi-Alpha 3 . $A_p = 2$, $A_e = 2$, $V_c = 90$, $V_f = 440$



CO2 par le centre 100 bars (sans périphérie)

$P = 60 \text{ W}$

$R_a = 0.749 \mu\text{m}$

Huile par le centre 100 bars (sans périphérie).

$P = 58 \text{ W}$

$R_a = 0.115 \mu\text{m}$

Conclusions

- L'arrosage par le centre de l'outil est indéniablement un net progrès: Durée de vie. Performances- Etat de surface.
- Efficace avec huile. émulsion et CO2 SC.
- Très nette amélioration de l'état de surface avec CO2 SC ou huile par le centre par rapport à l'arrosage extérieur.
- Possibilité de conserver des index irréguliers des dents.
- CO2 SC: Possibilité de limiter le débit en ajustant le diamètre des canaux latéraux.

Les acteurs du projet

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

Prof. Georg Wälder
Prof. Patrick Haas
Walter Gilli
Adilji Agim
Herve Sthioul



Gilbert Grosjean
Livio Elia
Rémy Vincent
Jérôme Vincent
Pierre Jetzer



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Commission pour la technologie et l'innovation CTI

PATENT PENDING EP3741500A1



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Procedia CIRP 95 (2020) 869–874



www.elsevier.com/locate/procedia

20th CIRP CONFERENCE ON ELECTRO PHYSICAL AND CHEMICAL MACHINING

Laser drilling of micro-holes in cutting tools

Georg Wälder^{a*}, Walter Gilli^a, Patrick Haas^a, Gilbert Grosjean^b



<https://authors.elsevier.com/sd/article/S2212827120310076>



Merci pour votre attention

GILBERT GROSJEAN

Directeur fabrication et R&D,

Eskenazi SA

+41 22 309 17 53

gilbert.grosjean@eskenazi.com

