



**HAL**  
open science

## Ensemencement du plasma de découpe

Sébastien Chabert

► **To cite this version:**

Sébastien Chabert. Ensemencement du plasma de découpe. Congrès de l'Ecole Doctorale GEET 2023, Ecole doctorale GEET, Jun 2023, Toulouse, France. hal-04452387

**HAL Id: hal-04452387**

**<https://hal.science/hal-04452387>**

Submitted on 12 Feb 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Ensemencement du plasma d'air de découpe par le hafnium et le cuivre de l'électrode

Sébastien CHABERT

Laplace, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse CEDEX 9

Les électrodes utilisées dans les torches de découpe par plasma d'air sont constituées de cuivre et d'un insert en hafnium, lequel présente une résistance renforcée à l'érosion qui survient lors du procédé. Ces deux métaux sont érodés et ensemencent le plasma dont ils peuvent altérer les caractéristiques. Cette étude a permis de quantifier expérimentalement cet ensemencement : il est très faible et n'a pas besoin d'être pris en compte dans les modélisations.

## I. Contexte

Ma thèse consiste à étudier une torche de découpe à plasma d'air *Tecmo* TM-125 afin d'apporter à Gys la connaissance de la physique de la découpe pour être en mesure de concevoir leurs propres torches. Pour ce faire, mon étude s'appuie sur des observations expérimentales et la modélisation numérique de la torche, basée sur ces observations. Les métaux de l'électrode sont vaporisés lors du fonctionnement de la torche et ensemencent le plasma. Cet article traite de la façon dont nous les avons quantifiés expérimentalement pour déterminer s'ils devaient être modélisés.

## II. Mise en oeuvre

### A. Protocole expérimental

Des coupes de métal ont été réalisées avec une torche à plasma pourvue d'une électrode neuve (FIG. 1). 10 cycles de coupe ont été réalisés. Chaque cycle de coupe comporte un amorçage suivi de 6 minutes de coupe ininterrompue. A l'issue de chaque cycle, la tête de l'électrode (qui comprend un insert en hafnium) a été observée au microscope électronique. Des profils 3D ont été réalisés, permettant de suivre l'érosion au cours des cycles. Les paramètres de coupe étaient les suivants :

- Matériau : tôle d'acier S355 de 4 mm d'épaisseur
- Courant de coupe : 105 A
- Pression injectée : 5 bar
- Tension d'arc : 160 V
- Vitesse de coupe : 1000 mm/min

### B. Matériel utilisé

Le poste de découpe est un *Gys* Neocut105 équipée d'une torche *Tecmo* TM-125 alimentés en air comprimé.

Le microscope électronique est un *Keyence* VHX6000 avec un zoom X100, permettant une résolution spatiale de  $3\mu\text{m}$  dans chaque direction.



FIG. 1. Electrode cotée

## III. Résultats

### A. Evolution de l'usure

L'usure a été observée après chacun des 10 cycles. Elle se fait de manière régulière et il en ressort approximativement une loi linéaire entre l'ablation volumique de cuivre et de hafnium et le temps de coupe total.

## B. Usure après 10 cycles

Le profil 3D de la tête d'électrode après 10 cycles a servi de base pour le calcul de l'ensemencement du plasma. Il est présenté sur la FIG. 2. Le cercle rouge de diamètre 0.6mm y délimite l'insert en hafnium. Autour de cet insert, le calaminage du cuivre lui donne une couleur sombre qui disparaît en périphérie, où la température est moins intense lors du procédé.

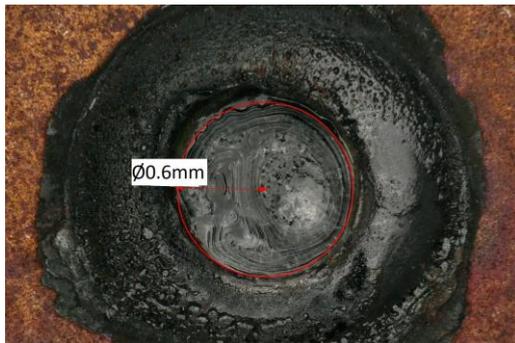


FIG. 2. Composition 3D de la tête de l'électrode après 10 cycles de coupe en couleurs réelles

L'outil intégré du microscope permet de visualiser la profondeur en superposant une échelle de couleur au cliché original (FIG. 3). Enfin, nous avons totalement occulté les couleurs réelles pour ne montrer que le profil de profondeur, tel qu'on peut le voir sur la FIG. 4. De plus, sur cette figure, nous avons fait apparaître l'insert en hafnium en y superposant un cercle rose.

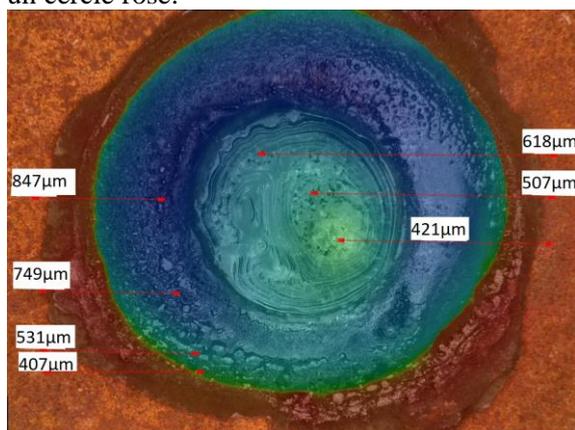


FIG. 3. Composition 3D de la tête de l'électrode après 10 cycles de coupe en couleurs hybrides réelle/profondeur, et profondeur de 7 points relativement à la surface de l'électrode

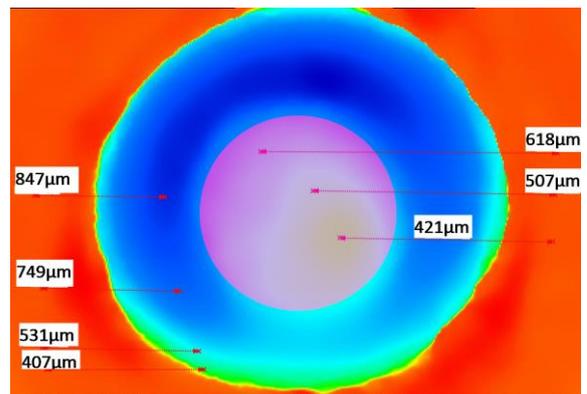


FIG. 4. Composition 3D de la tête de l'électrode après 10 cycles de coupe en couleurs dépendante de la profondeur, et profondeur de 7 points relativement à la surface de l'électrode

Nous avons traité ce cliché et séparé les zones selon la profondeur constatée. Le but étant d'obtenir une estimation des taux de métaux ablatés, nous n'avons pas cherché dans un premier temps à les calculer très précisément. En effet, cela aurait nécessité des développements potentiellement longs. Nous avons donc simplement utilisé un outil graphique de sélection des couleurs contigues afin d'obtenir un nombre réduit de zones et considéré une profondeur constante par zone. Le résultat est visible sur la FIG. 5 : Les zones marron correspondent au cuivre et celles turquoise à l'hafnium. La valeur inscrite dans chaque zone correspond à sa profondeur par rapport à la surface de l'électrode. Notons que le cratère présente des bords raides.

Ensuite j'ai dénombré les pixels de chaque couleur sur la FIG. 5 (pour la zone de cuivre à 407 µm, ils ne sont pas tous contigus) à l'aide de l'outil Histogramme de GIMP.

Etant donné que le cercle de hafnium a une aire de 1.11mm<sup>2</sup> pour 230 723 pixels soit 207 859 pixels par mm<sup>2</sup> il a suffi de faire une règle de trois pour obtenir les résultats du TAB.1 .

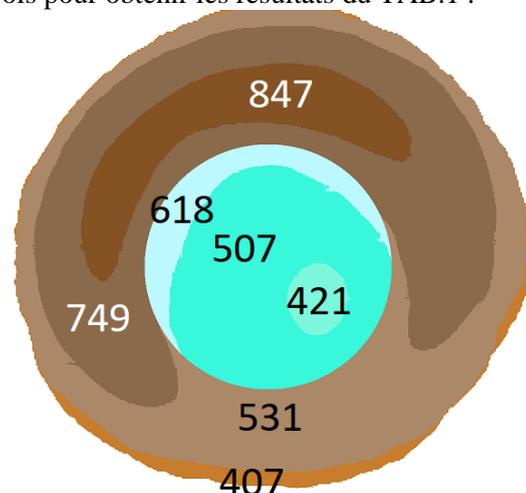


FIG. 5. Zonage de la tête de l'électrode (marron pour le cuivre, turquoise pour le hafnium) selon la profondeur, et valeurs des profondeurs retenues.

Matière	Profondeur (mm)	Nombre de pixel	Surface (mm <sup>2</sup> )	Volume (µm <sup>3</sup> )
Hafniu m	0.421	16 395	0.079	3.32
Hafniu m	0.507	168 800	0.812	41.2
Hafniu m	0.618	46 373	0.223	13.8
<b>Hafniu m</b>	<b>toutes</b>	<b>230 723</b>	<b>1.110</b>	<b>58.3</b>
Cuivre	0847	106 120	0.511	43.2
Cuivre	0.749	308 476	1.484	111.2
Cuivre	0.531	264 631	1.273	67.6
Cuivre	0.407	34 009	0.164	6.7
<b>Cuivre</b>	<b>toutes</b>	<b>713 236</b>	<b>3.431</b>	<b>228.7</b>

TAB. 1. Surface et volumes de métaux ablatés estimés

#### IV. Calculs sur les résultats

##### A. Ablation de métaux sur les 10 cycles

En considérant que le taux d'ablation est constant et en négligeant l'effet des 10 amorçages, j'ai estimé la quantité de cuivre et de hafnium ensemençant le plasma lors du fonctionnement.

Il s'agit de prendre les valeurs totales de cuivre et de hafnium ablatés (en gras dans TAB.1) et les diviser par le temps de coupe cumulé, 3600s.

Pour les densité on a :

- Cuivre 8.96 mg/mm<sup>3</sup>
- Hafnium 13.31 mg/mm<sup>3</sup>

Les résultats sont donnés dans TAB.2

	Volume (mm <sup>3</sup> )	Masse (mg)	Taux d'ablation (µg/s)
<b>Hafnium</b>	58.3	0.776	2.15
<b>Cuivre</b>	228.7	2.489	5.69

TAB. 2. Quantités de métaux ablatés

#### B. Taux d'ensemencement

D'après des essais pneumatiques, le débit d'air plasmagène est de 1.7 g/s soit 1.7.10<sup>6</sup> µg/s. Ainsi, en faisant l'hypothèse que l'intégralité des métaux de l'électrode ablatés ensementent le plasma, on peut rapporter le taux d'ablation (TAB.2) au débit massique d'air injecté pour trouver la proportion massique des métaux dans le plasma. Ces calculs sont donnés en (1) pour le hafnium et (2) pour le cuivre.

$$\tau_1 = \frac{2.15}{1.7 \cdot 10^6} = 1.27 \cdot 10^{-7} \quad (1)$$

$$\tau_2 = \frac{5.69}{1.7 \cdot 10^6} = 3.35 \cdot 10^{-7} \quad (2)$$

#### V. Conclusion

Abdelhakim et al. [1] ont étudié les coefficients de transports d'un plasma de diazote ensemenché de cuivre. Ils ont mis en évidence l'influence restreinte sur les coefficients de transport pour une fraction molaire de 1 % ou moins de cuivre dans le diazote. Les fractions en présence dans notre étude sont bien moindres puisque les proportions massiques (mais l'ordre de grandeur est le même en molaire) de cuivre et du hafnium dans le plasma sont 1 million de fois moins grandes.

Il était important d'avoir une idée de l'ordre de grandeur de cet ensemenchement pour savoir si le modèle numérique que nous utilisons et qui décrit ce plasma devait le prendre en compte. Ce n'est pas le cas.

De plus, il est inutile de développer une méthode de calcul plus précise pour quantifier les quantités de métaux ablatés des électrodes car dans tous les cas les taux d'ensemencement sont très loins d'être significatifs.

[1] H Abdelhakim et al 1980 J. Phys. D: Appl. Phys. 13 1427