

# Générateur à Plasma d'Arc à Air de 2 kW

ABDERRAHMANE HALIS<sup>1</sup>, BERNARD PATEYRON<sup>2</sup>, MOHAMMED EL GUANAOU<sup>2</sup>

- 1 Laboratoire de Recherche QUERE, Qualité de l'Energie dans les Réseaux Electriques.  
Département d'Electrotechnique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Ferhat ABBAS, 19000 Sétif, Algérie  
E-mail : [halis\\_abd@yahoo.fr](mailto:halis_abd@yahoo.fr)
- 2 Sciences des Procédés Céramiques et Traitement de Surface, UMR6638, Université de Limoges.  
123, avenue Albert Thomas 87060 Limoges Cedex, France.

Reçu le 3 décembre 2008

**Résumé :** Une torche plasma d'arc à air de moins de 2 kW a été conçue et réalisée dans le laboratoire de recherche QUERE de l'université de Sétif (Algérie). Elle est conçue afin de satisfaire tous les besoins qui imposent l'usage d'une flamme plasma : soudage, découpage, rechargement de métaux, traitement thermique de surface, veilleuse de chaudière d'incinération, chauffage de gaz, etc. C'est en outre une maquette des torches de même conception mais de puissances plus élevées. Versatile, elle permettra ainsi d'étudier les torches à plasma à électrodes concentriques et celles à électrodes puits dans de nombreuses configurations originales. Une description de ce générateur à plasma d'arc est présentée ainsi que les résultats des premiers essais expérimentaux à puissance réduite.

**Mots clés :** Plasma thermique, torche plasma d'arc ; plasma d'air

**Abstract:** An air plasma arc torch less than 2 kW was designed and constructed in the research laboratory QUERE of Setif University (Algeria) to meet all the needs that require the use of a plasma torch: welding, cutting, reloading metal surface treatment, pilot incineration burner, heating gas, etc. It is also a model of torches with the same concept but higher powers. It will also allow studying concentric electrodes plasma torches and hollow electrodes in many original configurations. A description of this generator plasma arc is presented with the results of the first experimental tests at reduced power.

**Key words:** Thermal plasma, plasma arc torch; air plasma

## Introduction

Les torches vortex à plasma d'air soufflés ont été développées dès le début des années 1980 pour des besoins de traitements chimiques, des besoins en sidérurgie et en métallurgie ou encore des besoins d'essais thermiques [1]. Celles proposées pour le traitement des déchets sont de type arc soufflé (adaptés au traitement des liquides et des gaz), ou de type arc transféré (adaptés au traitement des solides et des liquides) [2]. Citons quelques exemples d'applications exploitées ou étudiées.

- La destruction de déchets chimiques et plus particulièrement les déchets organohalogénés (PCB) [2]. Westinghouse injecte les déchets dans une torche vortex alimentée en air et montée sur un réacteur de pyrolyse. Pour les PCB, un taux de destruction atteignant 99,9999% est obtenu [3,4].
- L'incinération de déchets spéciaux tels certains déchets hospitaliers contaminés [5,6].
- L'inertage des déchets très réfractaires contenant de l'amiante (isolants thermiques, joints hautes températures, etc.) [7,8].
- La production de silicium photovoltaïque [9] et valorisation de déchets d'aluminium.

Ce travail présente la conception et la réalisation d'une torche plasma d'air soufflé généré par l'arc électrique créé entre deux électrodes cylindriques. Cette torche a été conçue afin de constituer le cœur d'un incinérateur de destruction à haute température de déchets toxiques. En effet le stockage de ceux-ci, parmi eux les PCB, est en principe interdit. Ces matières, qui existent sur le territoire algérien, doivent donc être détruites.

Pour des raisons pratiques de disponibilité matérielle cette torche conçue pour des régimes de fonctionnement de l'ordre de 50 kW a été testée à très faibles puissances voisines de 2 kW. Dans ces conditions où elle donne totale satisfaction, elle peut être utilisée en maquette de torches de même conception mais de puissances plus élevées.

## 1. Construction de la torche à plasma

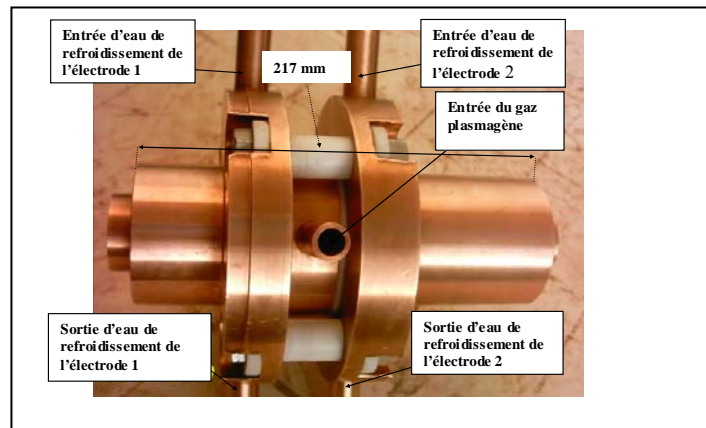


Figure 1 : Vue de la torche à plasma du QUERE.

La vue globale et la vue éclatée de ce générateur à plasma d'arc sont données sur les Figures 1 et

Figure 2

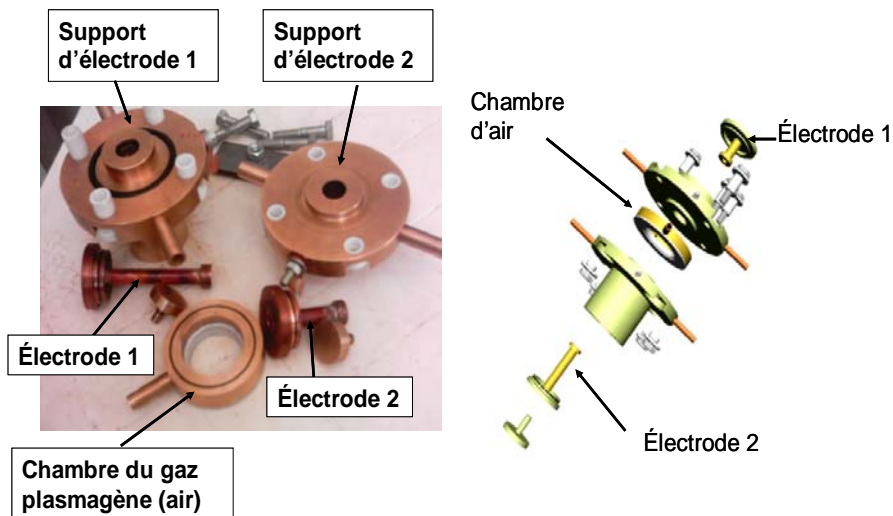


Figure 2 -Eclaté de la torche à plasma du QUERE.

La torche à plasma est constituée de deux électrodes de cuivre cylindriques coaxiales séparées par un espace d'alimentation en gaz plasmagène, ici de l'air [10]. -Lequel est fourni par un compresseur.

La chambre d'injection d'air (voir

Figure 2) est alimentée par quatre orifices identiques et équidistants, tangentiels à la périphérie de la chambre d'air. Ainsi se constitue un tourbillon dans l'espace inter électrodes.

L'arc s'allonge sous l'effet de l'écoulement d'air et s'accroche sur les faces internes des électrodes. La tension élevée permet des courants d'arc relativement faibles pour une puissance d'entrée donnée. Les électrodes sont refroidies par circulation d'eau afin de réduire leur érosion.

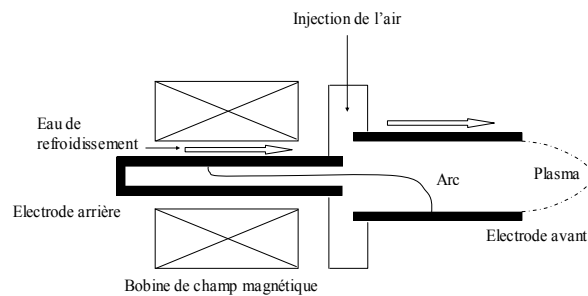


Figure 3 - Représentation schématique de la première configuration de la torche à plasma. La bobine magnétique enveloppe la cathode creuse.

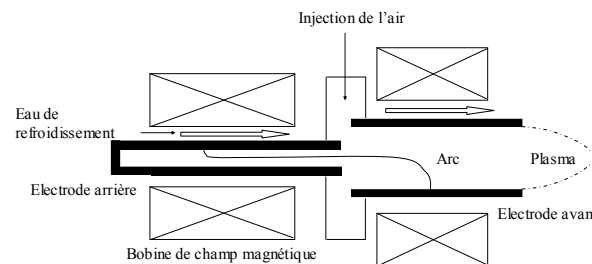


Figure 4 - Schéma de la deuxième configuration de la torche à plasma. Chaque électrode est enveloppée d'une bobine magnétique.

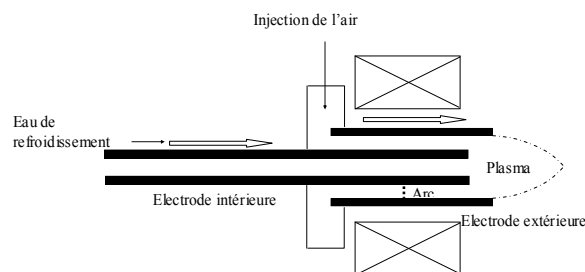


Figure 5 - Schéma de la troisième configuration de la torche à plasma. La cathode pénètre dans l'anode et une bobine magnétique enveloppe l'anode.

Cette torche fonctionne en mode soufflé et des électrodes cylindriques de diamètres et de longueurs différents permettent de l'exploiter de manières très versatiles, comme il est montré dans les Figure 3, Figure 4, Figure 5, Figure 6. Avec les configurations des Figure 3 et Figure 4, le diamètre intérieur de l'électrode avant peut varier de 8 mm à 16

mm et sa longueur peut être de 70 mm ou 120 mm. L'électrode arrière peut être de longueur 35 mm, 50 mm, 70 mm, 85 mm, 100 mm ou 120 mm. Ce générateur permet aussi l'étude des torches plasmas à électrodes concentriques comme présenté dans les figures 5 et 6. Le diamètre extérieur de l'électrode intérieure est de 14 mm et le diamètre intérieur de l'électrode extérieure varie entre 16 mm et 20.5 mm.

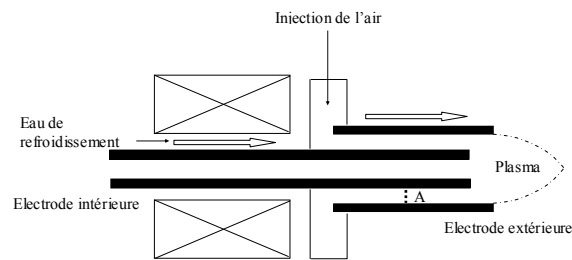


Figure 6 - Schéma de la quatrième configuration de la torche à plasma. La cathode pénètre dans l'anode et une bobine magnétique enveloppe la cathode.

## 2. Alimentation électrique de la torche plasma

Le comportement de l'arc est fortement influencé par de nombreux paramètres tels que la nature des électrodes et celle du gaz plasmagène et aussi les transferts avec l'écoulement environnant, eux-mêmes régis par la géométrie de la torche et le débit de gaz plasmagène. De façon schématique, l'arc a tendance à se comporter naturellement comme un court-circuit.

Comme la tension d'arc est fonction de sa longueur, le caractère dynamique du mouvement du pied d'arc et les changements de la longueur d'arc doivent être pris en compte dans la conception de l'alimentation électrique, puisque celle-ci devra répondre aux fluctuations extrêmement rapides de celle-ci. Une alimentation triphasée de faible puissance a été utilisée temporairement pour des tests préliminaires. Cette alimentation est constituée d'un convertisseur statique de six diodes au silicium montées en pont sur des plaques de refroidissement. Elle alimente la torche à une résistance variable et une inductance. L'inductance assure une excellente stabilité de l'arc.

## 3. Système de refroidissement

Le gaz plasmagène participe en partie à la fonction de refroidissement. Les conditions aux points d'accrochages d'arc sont sévères et des flux thermiques très élevés sont produits. C'est pourquoi un système de refroidissement par eau à haute pression et grande vitesse sera utilisé. En effet le flux de chaleur évacuée par l'eau de refroidissement augmente avec la vitesse de celle-ci.

Le refroidissement des électrodes est assuré par le réseau d'eau courante. Un réservoir (de 150 litres) alimente une pompe à eau dont le débit est contrôlé par une vanne. Le système de refroidissement fonctionne en circuit fermé et l'eau revient dans le réservoir après son passage sur les deux électrodes de la torche.

## 4. Alimentation de la torche par l'air

L'alimentation en air de la torche est assurée par un compresseur. L'air plasmagène est injecté tangentiellement dans l'espace libre entre les deux électrodes ce qui facilite la rotation des pieds d'arc sur la surface interne des électrodes. En outre, en raison de la traînée aérodynamique, les pieds d'arc oscillent également dans l'axe de la torche. Un champ magnétique est appliqué, en plus des forces aérodynamiques, afin d'augmenter ces effets et améliorer la durée de vie des électrodes.

## 5. Etude expérimentale

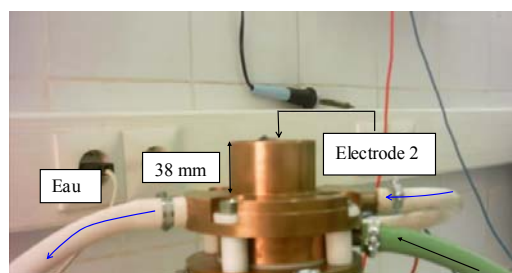


Figure 7 - Photographie de la torche (électrode avant a une longueur de 70mm)

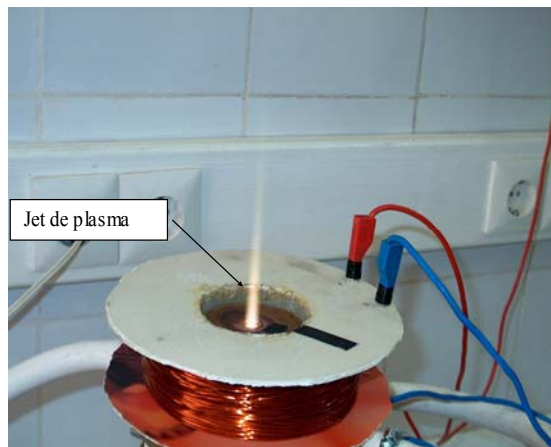


Figure 8 - Photographie du développement du jet de plasma de la torche (électrode avant a une longueur de 70 mm)

Le premier test est effectué dans la configuration de la Figure 7. La résistance du rhéostat est ajustée à  $30 \Omega$ , l'inductance est de  $160 \mu\text{H}$  et la tension à vide est de  $450 \text{ V}$ . L'électrode avant de la torche a une longueur de  $70 \text{ mm}$  et un diamètre intérieur de  $10 \text{ mm}$ . Le diamètre intérieur de l'électrode arrière est de  $8 \text{ mm}$  et sa longueur est de  $85 \text{ mm}$ . La pression d'alimentation d'air est réglée à  $0.1 \text{ bar}$ . Une bobine de champ de  $1270$  tours est utilisée autour de l'électrode arrière, et une autre de  $1170$  tours autour de l'électrode avant. Le courant injecté dans la bobine est de  $1 \text{ A}$ . Le sens du champ dans la bobine est choisi de telle façon que la force aérodynamique du gaz plasmagène et la force électromagnétique agissent de façon coopérative sur l'arc électrique. Un jet de plasma stable est obtenu comme le montre la Figure 8. Le courant d'arc est  $10 \text{ A}$  et la tension d'arc est  $60 \text{ V}$ .

Le deuxième test est réalisé avec la configuration suivante. La résistance du rhéostat est ajustée à  $27 \Omega$  et l'inductance de  $160 \mu\text{H}$ , la tension à vide est de  $450 \text{ V}$ . L'électrode avant de la torche a une longueur de  $120 \text{ mm}$  et un diamètre intérieur de  $8 \text{ mm}$ . Le diamètre intérieur de l'électrode arrière est de  $8 \text{ mm}$  et sa longueur est de  $85 \text{ mm}$ . La pression de l'air est réglée à  $0.1 \text{ bar}$ . Une bobine de champ de  $1270$  tours est utilisée au niveau de l'électrode arrière. Le courant injecté dans la bobine est de  $1 \text{ A}$ . Le sens du champ dans la bobine est choisi de telle façon que la force aérodynamique du gaz plasmagène et la force électromagnétique agissent sur l'arc électrique, dans le même sens. Un jet de plasma stable est obtenu. Le courant d'arc de  $9.5 \text{ A}$  et la tension de  $45 \text{ V}$ .

Une étude est faite de l'influence du champ magnétique sur le fonctionnement de la torche. La configuration utilisée est la suivante. Une inductance de stabilisation de  $62 \text{ Ohm}$ ,  $L = 197 \text{ mHenri}$  est insérée dans le circuit d'alimentation de la torche. La pression de l'air est réglée à  $0.1 \text{ bar}$ . Une bobine de champ de  $1270$  tours est utilisée au niveau de l'électrode arrière. Dans cet essai le courant injecté dans la bobine est de  $0 \text{ A}$ . Un jet de plasma stable très long est obtenu comme il est montré sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Le courant d'arc varie entre  $14 \text{ A}$  et  $17 \text{ A}$  et sa tension entre  $80 \text{ V}$  et  $130 \text{ V}$  respectivement.



Figure 9 - Photographie du développement du jet de plasma de la torche. Le courant injecté dans la bobine est de 0 A.

Dans un autre essai le courant injecté dans la bobine est de 1 A. Le sens du champ dans la bobine est choisi de telle façon que la force aérodynamique du gaz plasmagène et la force électromagnétique agissent dans le même sens sur l'arc électrique. Un jet de plasma stable plus court est obtenu comme il est montré sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Le courant d'arc varie entre 18.5 A et 20 A et la tension respectivement entre 78 V et 61 V.



Figure 10 - Photographie du développement du jet de plasma de la torche. Le courant injecté dans la bobine est de 1 A) (la force aérodynamique du gaz plasmagène et la force électromagnétique agissent sur l'arc électrique, dans le même sens.

Dans le dernier essai le courant injecté dans la bobine est de 1 A. Le sens du champ dans la bobine est choisi de telle façon que la force aérodynamique du gaz plasmagène et la force électromagnétique agissent sur l'arc électrique de façon opposée. Un jet de plasma stable est obtenu comme le montre la Figure 11, il est plus long que le précédent mais plus court que le premier (voir Figure 9) le courant d'arc varie entre 18 A et 21.5 A et la tension respectivement entre 92 V et 35 V.



Figure 11 - Photographie du développement du jet de plasma de la torche. Le courant injecté dans la bobine est de 1 A (la force aérodynamique du gaz plasmagène et la force électromagnétique s'opposent)

L'ensemble des points de fonctionnement tension-courant des tests réalisés sont représentés sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, il est visible que ces points sont distribués sur une caractéristique tension-courant tombante ainsi que le prévoient Brillhac et al. [11,12]. La droite de régression montre que vers 10 Ampères le régime d'arc est différent. L'analyse dimensionnelle prévoit, selon Brillhac et al. [11] une relation du type

$$N_v = K.N_i^a \quad \text{Équation 1}$$

entre les nombres  $N_i$  et  $N_v$  définis ci-dessous :

$$Ni = \frac{I^2}{\sigma_0 \cdot G \cdot h_0 \cdot d} \text{ et } Nv = \frac{U \cdot d \sigma_0}{I}$$

Avec  $\sigma_0$  : conductivité électrique (pour l'air à  $T_0$ ,  $\sigma_0 = 1676,8 \text{ A}^2 \cdot \text{s}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$  voir [14])

$h_0$  : enthalpie massique (pour l'air à  $T_0$ ,  $h_0 = 1,16254 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  voir [14])

$T_0$  : température caractéristique telle que la concentration en électrons dans le gaz atteigne un seuil arbitrairement fixé (si ce seuil est 1%  $T_0 = 9100\text{K}$  voir [14])

$G$  : débit masse total des gaz plasmagènes ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$d$  : diamètre interne de l'anode (m)

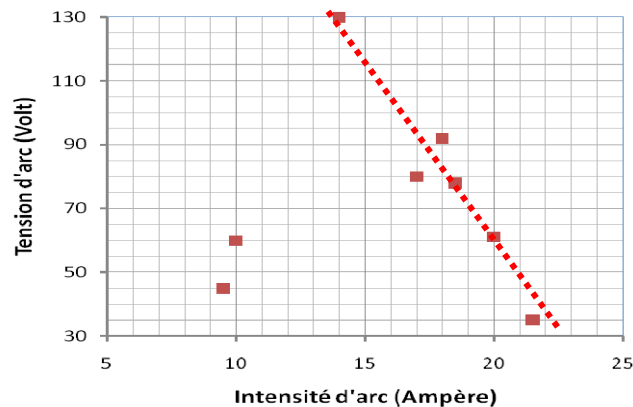
$I$  : Intensité du courant (A)

$U$  : Tension électrique (V)

A partir des données expérimentales excluant les intensités voisines de 10 Ampères, un coefficient  $a$  est obtenu tel que  $a = -0,475$ . Ce coefficient est comparé à ceux des torches de même type sur le Tableau 1. Il semble cohérent avec la diminution de la valeur absolue de  $a$  avec la puissance dissipée dans la torche.

Torche	Puissance	a
Aérospatiale	2 MW	-0,751
EDF (SPCTS)	150 kW	-0,612
QUERE	2kW	-0,475

**Tableau 1** – Relations semi empiriques obtenues pour le fonctionnement des torches de même type aéropatiale, EDF(SPCTS) et QUERE selon l'Equation 1



**Figure 12** – Points testés de la caractéristiques courant- tension de la torche QUERE. La droite de régression montre que vers 10 Ampères le régime d'arc diffère.

Le signal acoustique de la torche est enregistré de 1 Hz à 32 kHz et traité par transformée de Fourier [13]. La Figure 13 montre que les spectres avec ou sans champ magnétique se ressemblent et présentent les mêmes raies principales. Le spectre du haut. Il semble que l'amplitude du spectre de bruit augmente, particulièrement à basse fréquence, quand le champ magnétique coopère avec la rotation aérodynamique et que ce spectre de bruit s'atténue quand le champ magnétique contrarie la rotation aérodynamique.

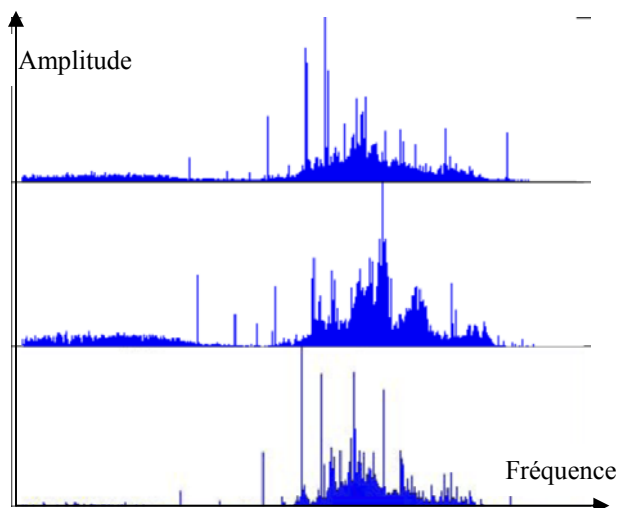


Figure 13– Spectres de Fourier du bruit acoustique de la torche QUERE de 1Hz à 32 kHz dans les trois conditions expérimentées en fonction de l'absence de champ magnétique (spectre du haut) et du sens de celui-ci, coopérant à la rotation hydrodynamique sur le spectre médian et la contrariant sur le spectre du bas.

## Conclusion

Après la conception suivie de la réalisation de la torche à plasma, une étude expérimentale a été menée sur ce générateur à plasma. Les tests effectués sur la torche ont montré que son fonctionnement est stable. Des jets de plasma sont obtenus pour les deux configurations de la torche, en dépit du faible courant d'alimentation actuellement disponible. La puissance de la torche est très faible et varie entre 427.5 W et 1921 W (environ 2 kW). L'utilisation des bobines de champ diminue la tension d'arc et rend celui-ci plus stable. Elles peuvent être utilisées pour déplacer le pied d'arc sur la surface interne des électrodes et ainsi augmenter l'aire d'érosion et ainsi prolonger leur durée de vie.

## Références

- [1] P. Fauchais, J.F. Coudert, B. Pateyron, La production de plasmas thermiques. *Revue Générale de Thermique*, 35(416), p 543-560, (1996)
- [2] F. Kassabji, B. Pateyron, J. Aubreton, M. Boulos, P. Fauchais, Conception d'un four à plasma de 0,7 MW pour la réduction des oxydes de fer. *Rev. Int. des Hautes Temp. et Réfract.*, 18, (1981)
- [3] K.R. Bruce, J. Lee, D. Freed and L. Heredy, "Evaluation of plasma – based thermal treatment system for destruction of difficult to remediate waste", International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Salt Lake City, USA, 1998, pp. 559-564.
- [4] J. Aubreton, B. Pateyron, P. Fauchais, Les fours à Plasma, *Rev. Int. Hautes Temp. et Réfract.*, 18, 293, (1981)
- [5] B. Pateyron, G. Delluc, J. Erin, M.F. Elchinger, P. Fauchais Calcite fluidized bed reactor heated by argon-hydrogen plasma for destruction of carbofluorine wastes Proc. of the 12th ISPC, Minneapolis (USA), 1995 Conference Proceedings ed. Prof J. Heberlein 6 pages.
- [6] P. Fauchais, A. et M. Vardelle, J.F. Coudert, B. Pateyron. State of the art in the field of plasma spraying and of extractive metallurgy with transferred arc: modelling, measurement, comparison between both, applications and developments, *Pure and Applied Chemistry*, 57 (9), 1171, (1985)
- [7] M.D. Springer, T. Barkley, O. Castellon, B. Forsberg and G. Stutts, "A thermal destruction and recovery process for medical waste powered by a thermal plasma arc torch", International Symposium on Environmental Technologies, Atlanta, USA, 1995, pp. 671-682.
- [8] B.Guihard, "Industrial and environmental applications of non transferred plasma", International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, New Orleans, USA, 2002.
- [9] C. Alemany, C.Trassy, B. Pateyron, K.-I Li, Y. Delannoy Refining of metallurgical-grade silicon by inductive plasma. *Solar Energy Materials and Solar Cells* (2002), 72(1-4), 41-48.
- [10] A.Halis, "Etude et réalisation d'un générateur à plasma," Thèse de Doctorat En Sciences En Electrotechnique, Université Ferhat Abbas – Sétif, Algérie, Février 2007.
- [11] J.F. Brilhac, B. Pateyron, P. Fauchais Investigation of the thermal characteristics of d.c. vortex plasma torches *High Temp. Chem. Processes*, 3, p 419-425, (1994)
- [12] J.F. Brilhac, B. Pateyron, J.F. Coudert, P. Fauchais, A. Bouvier Study of the dynamic and static behavior of DC vortex plasma torches : Part 2 : Well-type cathode Plasma chemistry and plasma processing, 15 (1), p 231-255, (1995)
- [13] D. Rigot, G. Delluc, B. Pateyron, J.F. Coudert, P. Fauchais, J. Wigren Transient evolution and shifts of signals emitted by a DC plasma gun (type PTF4) *High Temp. Mat. Processes*, 2, 2003, 175-185

- [14] B. Pateyron, G. Delluc, N. Calvé, T&TWinner, la chimie et les propriétés de transport en ligne, dans l'intervalle de 300 K à 20 000 K, *Mécanique & Industries* 6, p 651–654, (2006)
- [15] B. Pateyron "TTWinner" free download from <<http://www.unilim.fr/spcts>> or <http://ttwinner.free.fr>
- [16] B. Pateyron, M.F. Elchinger, G. Delluc, J. Aubreton. ADEP - Banque de données de l'Université et du CNRS. éd. Direction des Bibliothèques des Musées et de l'Information Scientifique et Technique (1986), puis éditions suivantes 1987, 1988, 1989
- [17] M.F. Elchinger, B. Pateyron, G. Delluc Et P. Fauchais Calculs des propriétés thermodynamiques et de transport des plasmas Ar-N<sub>2</sub> et Ar-H<sub>2</sub> à la pression atmosphérique Colloque de Physique, Colloque 5, Supplément au Journal de Physique n°18, 51(1990),5.
- [18] B. Pateyron, G. Delluc, M.F. Elchinger, P. Fauchais Destruction of carbofluoride wastes in a fluidized bed reactor. Part I: thermodynamic study of gas phase. Inter. Seminar on Heat and Mass Transfer, Izmir, T, July (1994) (Pub.) Begell N.Y. (1995) pp 445-452
- [19] W.L.T. Chen, J. Oberlein, E. Pfender, B. Pateyron, G. Delluc, M.F. Elchinger, P. Fauchais Thermodynamic and transport properties of argon/helium plasmas at atmospheric pressure *Plasma Chemistry Plasma Processing*, 15(3)(1995) pp 559-579.
- [20] M.F. Elchinger, B. Pateyron, P. Fauchais, A. Vardelle Calculation of thermodynamic and transport properties of Ar-H<sub>2</sub>-air plasma, comparison with simple mixing rules [b.3.22] 13th International Symposium on Plasma Chemistry, Beijing, Chine, 18-22 août 1997, Symposium Proceedings Supplement Edited by C.K. Wu, 1997-2003.
- [21] B. Pateyron, G. Delluc, P. Fauchais Chemical and transport properties of carbon-oxygen hydrogen plasmas in isochoric conditions *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 25, 2005, 485-502

## Autres références

- [22] B. PATEYRON, J. AUBRETON, M.F. ELCHINGER and G. DELLUC Thermodynamic and transport properties at high temperatures: hydrogen plasma and water International Meeting on Phase Equilibrium Data, Paris 5-13 September 1985, Institut de Topologie et de Dynamique des Systèmes, Université de Paris VII - CNRS, Meeting n° 2: "The first codata symposium on chemical thermodynamic and thermophysical properties databases, 9-10 September 1985, p. 415-420.
- [23] B. PATEYRON, J. AUBRETON, M.F. ELCHINGER and G. DELLUC Thermochemical equilibria in multicomponent systems on microcomputers International Meeting on Phase Equilibrium Data, Paris 5-13 September 1985, Institut de Topologie et de Dynamique des Systèmes, Université de Paris VII - CNRS, Meeting n° 3: "The second data symposium on critical evaluation and prediction of phase-equilibrium in multicomponent systems, 11-13 September 1985, p. 303-308.
- [24] B. PATEYRON (1987) No 21-1987, Thèse de doctorat d'État Université de Limoges (2 juillet 1987)
- [25] B. PATEYRON, M.F. ELCHINGER, G. DELLUC, J. AUBRETON. ADEP - Banque de données de l'Université et du CNRS. éd. Direction des Bibliothèques des Musées et de l'Information Scientifique et Technique (1986), puis éditions suivantes 1987, 1988, 1989
- [26] B. PATEYRON, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Modelling of the influence on transferred arcs behaviour of gas flowrate around the hot cathode tip ISCP8 - Tokyo, 1987, Paper number BV-O1, p.67-74.
- [27] M.F. ELCHINGER, B. PATEYRON, G. DELLUC, P. FAUCHAIS Radiation properties and transport coefficients of some mixtures of nitrogen-oxygen mixtures including air ISPC9 Proceed., Bari, 1(1)(1989)L27.
- [28] M. TELLAT, B. ABOULKASSIM, B. PATEYRON, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Aluminium oxinitride synthesis in a fluidized bed reactor heated by dc plasma jet ISPC9 Proceed., Bari, 1(1)(1989)L56.
- [29] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Study of the behaviour of the heat conductivity and other transport properties of a simple reacting system: H<sub>2</sub>-Ar and H<sub>2</sub>-Ar-air. Dilution effect in spraying process at atmospheric pressure *Journal of High Temperature Chemical Processes*, Colloque, supplément au n°3, 1 (1992) pp 325-332
- [30] B. PATEYRON, M.F. ELCHINGER, G. DELLUC and P. FAUCHAIS Thermodynamic and transport properties of Ar-H<sub>2</sub> and Ar-He plasma gases used for spraying at atmospheric pressure: I: Properties of the mixtures *Plasma Chemistry Plasma Processing*, 12(4)(1992) pp 421-448.
- [31] J.M LEGER, P. FAUCHAIS, M. GRIMAUD, M. and A. VARDELLE, B. PATEYRON. A new ternary mixture to improve the properties of plasma sprayed ceramic coatings. ITSC 92, June 1-5 Orlando, USA
- [32] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS "Study of the behaviour of the heat conductivity and other transport properties of a simple reacting system : (H<sub>2</sub>-Ar)- Air." Second European Congress on Plasma Processes. Ecole Supérieure d'Electricité Gif-sur-Yvette/Paris, France 7-9 Septembre 1992.
- [33] B. PATEYRON "Code ADEP - Chimie sur Minitel" *Le Journal du CNRS* Mai 1992.
- [34] B. PATEYRON, G. DELLUC, "Les propriétés thermodynamiques et transports des gaz réels" Quatrième Séminaire sur les écoulements de fluides compressibles. 29,30 et 31 Janvier 1992. C.E.N. SACLAY amphithéâtre de l'INSTN (oral).

- [35] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER "ADEP - Thermodynamic and transport properties Data Base" Ile Congrès Européen Génie des Procédés Plasmas Gif sur Yvette 7-9 Septembre 1992
- [36] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER "ADEP - Thermodynamic and transport properties Data Base" C92 Carrefour International de la céramique et du Verre Limoges 22-25 Septembre 1992.
- [37] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER "ADEP - Thermodynamic and transport properties Data Base" CERAMI Plasma "Carrefour des Etudiants en Relation avec le Milieu Industriel du Plasma" Limoges le 1er octobre 1992.
- [38] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Study of the behaviour of the heat conductivity and other transport properties of a simple reacting system: H<sub>2</sub>-Ar and H<sub>2</sub>-Ar-Air. Dilution in spraying process at atmospheric pressure. Colloque sur les Procédés Plasmas Thermiques, 7-9 Septembre 1992, Gif/Yvette, F (oral)
- [39] M.F. ELCHINGER, B. PATEYRON, G. DELLUC et P. FAUCHAIS Calculs des propriétés thermodynamiques et de transport des plasmas Ar-N<sub>2</sub> et Ar-H<sub>2</sub> à la pression atmosphérique Colloque de Physique, Colloque 5, Supplément au Journal de Physique n°18, 51(1990),5.
- [40] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS An anomalous behavior of the viscosity in Ar-He mixture ISPC10 L4, 1991, 1.1.28(ed.) Uhleman, Univ. of Buchum.
- [41] B. PATEYRON "ADEP-Junior" Fiche logiciel L'actualité chimique N° 3 Mai-juin 1993
- [42] B. PATEYRON "ADEP - Thermodynamic and transport properties Data Base" Codata Newsletter November 1993
- [43] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Sound velocity an different reacting systems : H<sub>2</sub>-Ar,He-Ar and H<sub>2</sub>-Ar-air used in plasma spraying process at atmospheric pressure. Proc. 11th International Symposium on Plasma Chemistry, Loughborough, England, 1 (1993) pp 192-197 (Ed. Prof. Harry) (Pub. Univ. of Loughborough)
- [44] B. PATEYRON LMCTS "ADEP-Junior" Fiche logiciel L'actualité chimique N° 3 Mai-juin 1993
- [45] B. PATEYRON "ADEP - Thermodynamic and transport properties Data Base" Codata Newsletter November 1993
- [46] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Destruction of carbofluoride wastes in a fluidized bed reactor. Part I: thermodynamic study of gas phase. Inter. Seminar on Heat and Mass Transfer, Izmir, T, July (1994) (Pub.) Begell N.Y. (1995) pp 445-452
- [47] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Destruction of carbofluoride wastes in a fluidized bed reactor. Part I: thermodynamic study of gas phase Inter. Seminar on Heat and Mass Transfer, Izmir, T, July (1994) (Pub.) Begell N.Y. (1995) pp 445-452.
- [48] B. PATEYRON, G. DELLUC, B. ALBOUKASSIM, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Destruction of carbofluoride wastes in a fluidized bed reactor. Part II: designing of the fluidized bed Inter. Seminar on Heat and Mass Transfer, Izmir, T, July (1994) (Pub.) Begell N.Y. (1995) pp 453-462.
- [49] B. PATEYRON, G. DELLUC, J. ERIN, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Calcite fluidized bed reactor heated by argon-hydrogen plasma for destruction of carbofluorine wastes Proc. of the 12th ISPC, Minneapolis (USA), 1995, Conference Proceedings ed. Prof. J. Heberlein, pp. 1001-1008.
- [50] B. PATEYRON, M.F. ELCHINGER, G. DELLUC, P. FAUCHAIS Sound velocity in different reacting thermal plasma coatings Plasma Chemistry Plasma Processing, 16(1)(1996) pp 39-57.
- [51] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Thermodynamic and transport properties of H-S gases including sulphur dihydride : H<sub>2</sub>S. Fourth European Conference on Thermal Plasma Processes, Athènes (Grèce), 15-18 Juillet 1996.
- [52] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Thermodynamic, transport properties and sound velocity of a non equilibrium air plasma. Gordon Research Conference on Plasma Processing Science, Tilton, NH (USA), 9-14 Août 1996.
- [53] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Thermodynamic and transport properties of H-S gases including sulphur dihydride : H<sub>2</sub>S. Fourth European Conference on Thermal Plasma Processes, Athènes (Grèce), 15-18 July 1996, P. Fauchais Ed., Begell House, NY (USA), 1997, 601-607.
- [54] B. PATEYRON, G. DELLUC, M.F. ELCHINGER, P. FAUCHAIS Thermodynamic and transport properties of H-S gases including sulphur dihydride: H<sub>2</sub>S Proc. of the Fourth European Conference on Thermal Plasma Processes, Athens, 15-18 July 1996, pp. 611-617.
- [55] M.F. ELCHINGER, B. PATEYRON, P. FAUCHAIS, A. VARDELLE Calculation of thermodynamic and transport properties of Ar-H<sub>2</sub>-air plasma, comparison with simple mixing rules [b.3.22] 13th International Symposium on Plasma Chemistry, Beijing, Chine, 18-22 août 1997, Symposium Proceedings Supplement Edited by C.K. Wu, 1997-2003.
- [56] B. PATEYRON, M.F. ELCHINGER, G. DELLUC, P. FAUCHAIS. Thermodynamic and transport properties of the plasma ternary mixture Ar-He-N<sub>2</sub> 13th International Symposium on Plasma Chemistry, Symposium Proceedings, Supplement, August 18-22, Beijing (Chine), 2004-2009
- [57] P. FAUCHAIS, M.F. ELCHINGER, B. PATEYRON, J. AUBRETON Thermal plasma processes : the need of thermodynamic and transport properties at and out equilibrium. European Material Research Society Conference, Strasbourg ( France), June 16-20, 1997

- [58] S. JANISSON, A. VARDELLE, J.F. COUDERT, B. PATEYRON, P. FAUCHAIS, E. MEILLOT Plasma spraying using Ar-He-H<sub>2</sub> gas mixtures. 15th International Thermal Spray Conference, Nice (France), 24-29 Mai 1998.
- [59] B. PATEYRON, G. DELLUC, P. FAUCHAIS. T&TWinner, une base de données et de calculs des propriétés thermodynamiques et de transport. Application à l'étude de mélanges de gaz plasmagènes. Société Française de Chimie (sections Centre-Ouest et Orléans), CEA-Le Ripault, 14-15 juin 1999.
- [60] S. JANISSON, A. VARDELLE, J.F. COUDERT, E. MEILLOT, B. PATEYRON, P. FAUCHAIS Plasma spraying using Ar-He-H<sub>2</sub> gas mixtures J. Thermal Spray Technology, 8, 1999, 545-552
- [61] B. PATEYRON, G. DELLUC and P. FAUCHAIS The forecast of the chemical and transport properties of a carbon-oxygen plasma in isochoric conditions. The European Material Conference TPP6 Thermal plasma processes Strasbourg 30 mai-2 juin 2000
- [62] B. PATEYRON, G. DELLUC T&TWinner base de calculs des propriétés de transport des gaz plasmas Journées CEA-Centre Européen de la Céramique, Limoges, 13 Décembre 2001
- [63] B. PATEYRON, G. DELLUC T&TWinner base de calcul des propriétés thermochimiques et de transport des gaz plasmas Journée Scientifique SFC, section Centre-Ouest "Matériaux à propriétés spécifiques : de la conception aux applications", Limoges, 18 Janvier 2002
- [64] B. PATEYRON, P. PROULX, C. TRASSY Effect of electric fields on the non-equilibrium in an ICP E MRS-IUMRS-ICEM 2002, TPP7 Thermal Plasma Processes, Strasbourg, 18-21 juin 2002
- [65] B. PATEYRON, G. DELLUC, P. FAUCHAIS Chemical and transport properties of carbon-oxygen hydrogen plasmas in isochoric conditions Plasma Chemistry and Plasma Processing, 25, 2005, 485-502