

Modélisation d'une Torche à Plasma Thermique de Forte Puissance à Électrode creuse pour son utilisation en Haut-fourneau.

F. Sambou, P. Freton, J.J. Gonzalez

*Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS,
118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse cedex 9, France*
Email : francis.sambou@laplace-univ.tlse.fr

Dans un objectif d'adaptation de leurs productions aux enjeux du changement climatique et de réduction des coûts de production d'acier d'une usine sidérurgique intégrée complète, les sidérurgistes ont envisagés de nouvelles stratégies technologiques afin de faire évoluer les Hauts-fourneaux. En effet, l'industrie sidérurgique compte pour 4 à 6% des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondiale et de 25 à 30% des émissions industrielles (principalement du CO₂). Ceci dit que l'industrie sidérurgique est confrontée aux enjeux du changement climatique et de l'empreinte carbone. Ainsi, elle est dans l'obligation d'adapter sa production pour être plus respectueux de l'homme et de son environnement.

Dans le but de se conformer à ces défis, les sidérurgistes ont mis en place des programmes. Parmi ces programmes nous pouvons citer le cas des programmes européen ULCOS (pour, Ultra Low CO₂ Steelmaking) et français LIS/TGR-BF (pour, Top Gas Recycling - Blast Furnace) [1]. Ces programmes visent à réduire significativement les émissions de CO₂ et les coûts de production d'acier d'une usine sidérurgique intégrée complète. Une des pistes prometteuses pour la relève de ces défis est l'injection de gaz réducteur chaud au Haut-fourneau. Ainsi en continuité de ces programmes, l'ADEME propose le projet IGAR (Injection de Gaz Réducteur), projet dans lequel s'inscrivent ces travaux de thèse.

Ce projet regroupe plusieurs partenaires industriels et académiques : AcelorMittal (AMMR), Europlasma, Basis Electronique de Puissance (Basis-EP), l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (INPT-IMFT), l'Institut de mécanique et d'ingénierie de Bordeaux (I2M), le laboratoire complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie (CORIA), le laboratoire thermique énergétique des procédés (Latep), et dont notre laboratoire le Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie (INPT-Laplace). Il vise à réaliser la validation préindustrielle de l'injection en Haut-fourneau de gaz réducteur chaud par l'utilisation de la technologie de torches à plasma thermique, pour chauffer et réformer des gaz sidérurgique. Plus spécifiquement, ce projet vise à tester d'une part le fonctionnement d'un système de torches à plasma thermique pour chauffer et reformer des gaz sidérurgique en générant des gaz réducteur, et d'autre part de tester une tuyère de Haut-fourneau spécifiquement conçu pour injecter ce gaz réducteur ainsi produit. La réussite de ce projet permettra le déploiement de la technologie torche à plasma thermique dans des installations industrielles réelles de Hauts-fourneaux. La figure 1 ci-dessous donne une représentation schématique de la situation du projet IGAR et la part d'intervention de chacun des partenaires dans ce projet.

Dans le cadre de ce projet, nous allons nous intéresser exclusivement à l'étude et l'optimisation de l'hydrodynamique interne de la torche par modélisation numérique. Dans

nos travaux de modélisation, nous allons spécifiquement nous intéresser à la technologie des torches plasma thermique à courant continu (ou torches DC) à cathode creuse de la société Europlasma. Europlasma est une société française leader dans les technologies de fabrication des torches à plasma thermique en particulier les torches plasma thermique à cathode creuse. L'objectif plus particulier de ces travaux est d'étudier et d'optimiser le fonctionnement interne des torches à cathode creuse DC existantes pour au final passer à des torches de puissance beaucoup plus élevée. Les résultats de ces travaux de modélisation seront confrontés aux caractérisations expérimentales du jet de plasma réalisées par I2M.

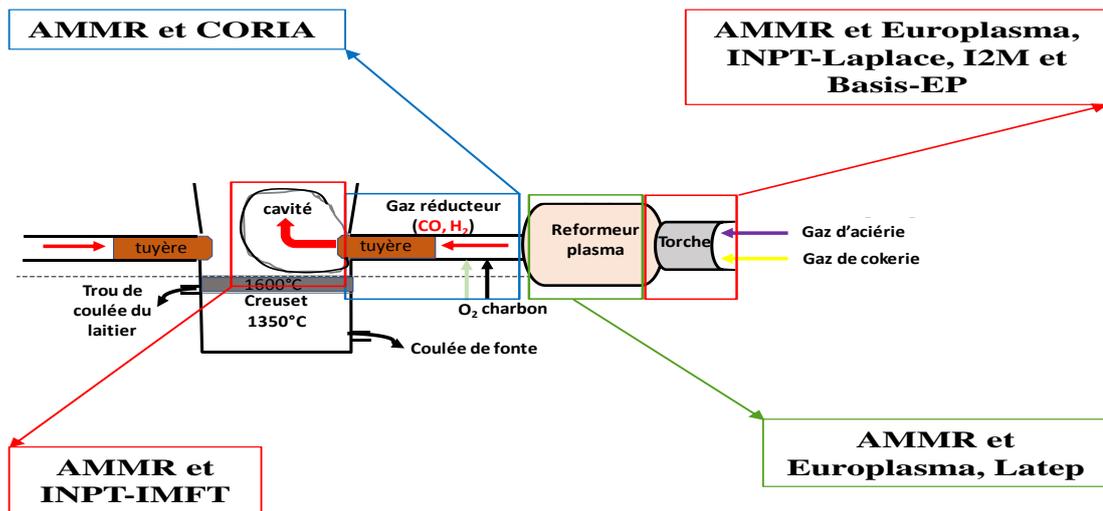


Figure 1 : le projet IGAR, situation au niveau du Haut-fourneau

Les Hauts-fourneaux

Les Hauts-fourneaux sont les installations de base de l'industrie sidérurgique qui constituent la première étape de production d'acier au niveau mondiale à partir d'un minerai, 70% de la production mondiale [2]. Ce sont des réacteurs chimiques à contrecourant de gaz, de liquides, et de solides couplés par des échanges de chaleur et des réactions chimiques [3][4]. La production d'acier par les Hauts-fourneaux est basée sur l'utilisation de minerais de fer. Pour produire de l'acier, les minerais de fer sont enfournés dans le Haut-fourneau avec du coke (composé carboné issue du charbon bitumineux par traitement en milieu anaérobie) produisant de la fonte et une gangue de matières premières appelée scories. Cette fonte est en effet un produit primitif de l'acier qui nécessite un traitement dans les aciéries pour diminuer sa teneur en carbone et de produire ainsi de l'acier (fer plus moins de 2% de teneur en carbone). Les Hauts-fourneaux assurent à la fois, la réduction des oxydes métalliques, la fusion de la fonte et les scories issues du minerai de fer.

Le projet IGAR : description du procédé

La figure 2 montre un schéma descriptif du procédé suggéré dans le cadre du projet IGAR. De la gauche vers la droite sur ce schéma nous avons :

- Une injection dans la torche des gaz sidérurgique comme gaz plasmagène recyclé (gaz d'aciérie, de cokerie et de Haut-fourneau) généralement brûlé pour d'autres fins;
- Sortie des gaz sous forme de jet de plasma thermique dans le dispositif de reformage ;
- Reformage des gaz essentiellement, production de gaz réducteur (CO et H_2) ;
- Injection à travers les tuyères des gaz réducteurs ainsi produits dans le Haut-fourneau;
- Réduction des minerais de fer en substitution du coke onéreux.

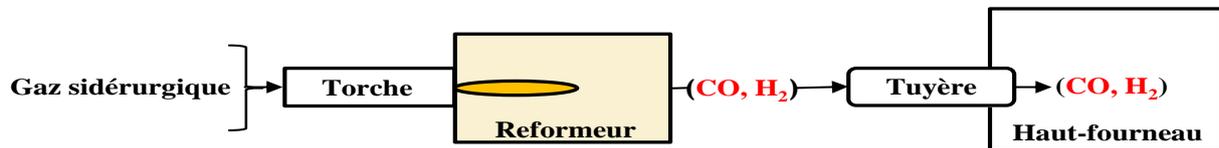


Figure 2 : schéma de principe du procédé

Les torches plasma thermique à cathode creuse

Dans le cadre de nos travaux, nous allons étudier et optimiser l'hydrodynamique interne des torches plasma thermique à cathode creuse (torches Europlasma) existantes fonctionnant avec de l'air comme gaz plasmagène. Les résultats de cette étude permettront de bien appréhender les caractéristiques importantes de ces torches afin de prédire celles des torches de puissance plus élevée qui seront utilisées dans des grosses installations industrielles réelles telles que les Hauts-fourneaux.

Les torches plasma thermique sont des dispositifs permettant de générer des jets de plasma thermique de très forte densité d'énergie à des températures très hautes. Le principe de fonctionnement de base de tous les torches à plasma thermique hormis les torches à plasma thermique RF nécessite obligatoirement la présence d'un arc électrique initialement établie entre anode et cathode. Il existe deux types de torches à plasma thermique selon la source d'énergie utilisée pour générer le plasma, les torches à plasma thermique utilisant de l'énergie radiofréquence (RF) et les torches à plasma thermique utilisant de l'énergie électrique. Dans cette dernière catégorie de torches deux types de configurations existent selon que les deux électrodes sont des parties intégrantes de la torche ou non, respectivement les torches plasma thermique à arc soufflé et les torches plasma thermique à arc transféré. Les torches plasma thermique à arc soufflé sont de deux types selon que la cathode est creuse ou pleine.

Les torches plasma thermique à cathode creuse dont l'étude est l'intérêt dans ces travaux s'inscrivent dans la catégorie des torches plasma thermique à arc soufflé. Elles sont très utilisées dans les procédés de traitement des matériaux tels que le soudage, la découpe, la projection, la synthèse et le traitement des déchets [5]. Structurellement, les torches plasma thermique à électrode creuse (ou cathode creuse) étudiées dans le cadre de ces travaux, sont constituées d'une anode et d'une cathode creuses cylindriques coaxiales avec un gap entre eux où le gaz plasmagène est injecté en vortex et une bobine autour de la cathode permettant d'appliquer un champ magnétique externe afin de pouvoir piloter l'arc électrique. L'intérêt de ce gaz plasmagène en injection vortex et l'application d'un champ magnétique externe est d'assurer le fonctionnement optimal de ces torches en minimisant les phénomènes d'érosion des électrodes et les instabilités constituant leurs véritables verrous technologiques [6] [7].

D'autre part des études ont montrées qu'un choix judicieux des caractéristiques géométriques de ces torches est essentiel pour un fonctionnement optimal de ces torches [8] [9]. La figure 3 ci-dessous est une représentation schématique du principe d'une torche plasma thermique à cathode creuse.

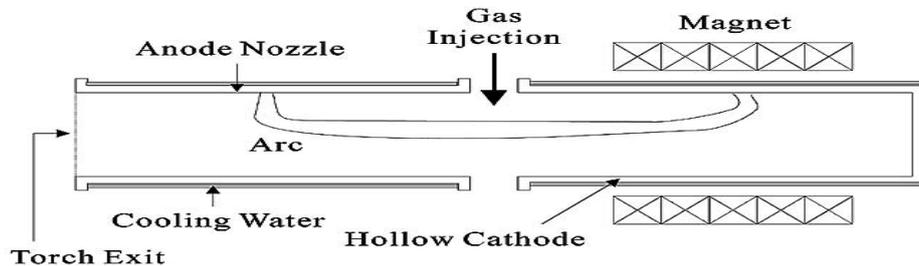


Figure 3 : schéma de structure d'une torche plasma thermique à cathode creuse [10]

Je présenterai en détail le principe de fonctionnement d'un Haut-fourneau, la démarche qui va être menée dans le cadre de ces travaux de modélisation ainsi que les premiers résultats.

Références

- [1] PhD Thesis, DEM-CFD Modelling of the ironmaking blast furnace, ISBN: 978-94-91909-06-1 Copyright ©2014 by A. T. Adema, March 2014.
- [2] A. Hasanbeigi, L. Prince, Z. Chunxia, S. Fangqin, L. Xiuping, comparison of iron and steel production energy use and energy intensity in china and the US. *Journal of cleaner Production* 65 (2014) 108-109.
- [3] X.F. Dong, A.B. Yu, S.J. Chew, and P. Zulli, Modelling of blast furnace with layered zone, DOI: 10.1007/s11663-009-9327-y, Copyright© The Materials, Metals & Materials Society and ASM International 2009.
- [4] J. A. de Castro, H. Nogami, J-I. Yagi, Transient mathematical model of blast furnace based on multi-fluid concept, with application to high PCI, *ISIJ International*. Vol. 40 (2000), no. 7, pp. 637-646.
- [5] M. Hur and Sang Hee Hong 2002 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **35** 1946.
- [6] S. W. Chau, K. L. Hsu, D. L. Lin and C. C. Tzeng 2007. *J. Phys. D: Appl. Phys.* **40** 1944.
- [7] J.-F. Brilhac, B. Pateyron, J.-F. Coudert, P. Fauchais, and A. Bouvier, Study of the Dynamic and Static behavior of dc Vortex Plasma Torches II: Well-Type Cathode. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Vol. 15, No. 2, 1995.
- [8] Keun Su Kim *et al* 2008 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **41** 065201.
- [9] Teste Ph, Leblanc T, Andlauer R and Chabrierie J-P 2001 *Plasma Sources Sci. Technol.* **10** 10–16.
- [10] Jin Myung Park, Keun Su Kim, Tae Hyung Hwang, and Sang Hee Hong, "Three-Dimensional Modeling of Arc Root Rotation by External Magnetic Field in Nontransferred Thermal Plasma Torches," *IEEE Transactions on plasma science*, vol. 32, no. 2, April 2004.

