

Modélisation de l'extinction d'un arc électrique application aux disjoncteurs à SF₆

Jean-Belkheir BELHAOUARI

Equipe physico-chimie des plasmas d'arc
Centre de Physique des Plasmas et de leurs Applications de Toulouse
URA du CNRS n° 277, Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne
31062 Toulouse cedex, France
Tel: 61-55-68-55 Fax: 61-55-63-32 E-Mail: jbb@cpa111.ups-tlse.fr

Durant ces trente dernières années, l'utilisation de l'hexafluorure de soufre (SF₆) dans les disjoncteurs, a considérablement augmenté. La séparation des contacts induit l'apparition d'un arc électrique qu'il faut très rapidement faire disparaître lorsque l'intensité du courant alternatif passe par zéro. Le SF₆ présente des propriétés physico-chimiques qui rendent son utilisation favorable, citons par exemple sa haute rigidité diélectrique, une bonne conductivité thermique pour une température voisine de 2000 K. L'ensemble de ces propriétés permet un refroidissement rapide et une forte électro-négativité ce qui favorise la disparition des électrons dans le plasma en extinction.

Au cours de l'extinction le plasma, soumis à un fort soufflage, est le siège de turbulence qui régissent les transferts d'énergie nécessaires à la récupération de la rigidité diélectrique du milieu. Un modèle thermique n'est donc pas suffisant pour expliquer le comportement du milieu où existent des déséquilibres chimiques dus à la turbulence et au violent refroidissement (jusqu'à 10⁹ K/s). En effet, les mesures désormais fiables, entreprises dans les stations d'essais, montrent que le courant post-arc, après le passage au zéro du courant alternatif dans les disjoncteurs, est inexistant dans la plupart des cas testés. Or tout modèle basé sur l'hypothèse de l'équilibre thermodynamique local (ETL) prévoit un courant post-arc. Pour interpréter cette différence entre expérience et théorie il faut considérer que dans la réalité la colonne de plasma serait envahie, localement ou globalement, par une certaine quantité de gaz froid qui n'avait pas été totalement dissocié avant d'arriver dans les régions chaudes. La colonne de plasma serait alors coupée par une tranche de gaz à très faible conductivité électrique, qui empêcherait la circulation d'un courant électrique. L'origine de cette poche de gaz froid pourrait être due soit à des tourbillons de turbulence, soit à la convection violente qui amènerait du gaz froid dans des zones chaudes du plasma.

L'objectif de cette étude est d'établir un modèle global d'arc de SF₆ en extinction permettant de calculer l'évolution de la température de la conductance du milieu, tout en tenant compte d'éventuels écarts à l'équilibre de composition. Les modèles développés jusqu'à présent sont basés sur l'hypothèse de l'ETL et traitent séparément les phénomènes convectifs et les phénomènes cinétiques. Le modèle que nous avons développé simule l'extinction d'un arc stabilisé par paroi suivant une dimension à symétrie cylindrique de rayon de 2,5mm. Nous supposons que le fluide est caractérisé par un écoulement laminaire et que seuls les termes de conduction gouvernent, la convection axiale et la diffusion des espèces étant négligeables. On considère que les coefficients de transport ne sont fonctions que de la température et de la pression. A l'instant initial nous nous fixons la température de paroi ainsi que l'intensité, le profil de température initial peut alors être calculé par le bilan énergétique couplé avec la loi d'Ohm. Un modèle cinétique collisionnel radiatif permet de calculer la composition du milieu en régime stationnaire. Le modèle d'extinction résout les équations de conservation de l'énergie, de la quantité de mouvement radiale et les équations de conservation des espèces. Le couplage s'effectue au niveau de la densité de masse et de la pression.

Ce modèle donne les évolutions des profils de température cinétique des particules, fonction essentiellement des mécanismes de conduction normale de turbulence et de convection, les évolutions des profils de densités de particules ainsi que l'évolution de la conductance.

Les résultats du modèle montrent que la vitesse de refroidissement est de l'ordre de $7 \cdot 10^7$ K/s et que l'importance de la convection se traduit par une vitesse radiale rentrante pouvant atteindre 15m/s. L'analyse des densités de particules sur l'axe montre pour l'instant des écarts à l'équilibre dépendants de la nature des espèces et de la vitesse de refroidissement.