

Étude d'arcs électriques instationnaires avec un modèle magnétohydrodynamique. Application à l'étude du foudroiement des avions

Laurent Chemartin⁽¹⁾

Philippe Lalande⁽¹⁾, Clarisse Delalandre⁽²⁾, Hervé Andreu⁽³⁾, Bruno Chéron⁽⁴⁾

⁽¹⁾ ONERA/DMPH/FPA (Foudre plasma et application) – 29 av de la division Leclerc – 92322 Châtillon, France

⁽²⁾ EDF R&D département MFEE, 6 quai Water 78400 Chatou, France

⁽³⁾ CEAT, 47 route de St Jean 31130 Balma, France

⁽⁴⁾ CORIA, UMR 6614, Site Universitaire du Madrillet, 76801 Saint Etienne du Rouvray, France

Introduction

⇒ L'objectif de ce travail est d'adapter au cas de la foudre le modèle d'arc électrique de *Code_Saturne*® (modèle magnétohydrodynamique) et de l'utiliser pour étudier:

- le comportement des colonnes d'arc de foudre libre dans l'air.
- un dispositif d'essais simulant l'interaction entre un échantillon de fuselage d'avion et un arc de foudre.

Étude du comportement des colonnes d'arc libre

- Évaluation de la répartition des risques de foudroiement sur le fuselage
 - ⇒ Propriétés géométriques et électriques des colonnes d'arcs de foudre
- Caractérisation des mouvements chaotiques de l'arc:
 - ⇒ Résultats expérimentaux de Tanaka et al. à 1 atmosphère et à I=100A et 2000A pour une durée de 100ms
 - ⇒ Simulations à 0.6, 0.8 et 1 atmosphère pour 100, 250 et 500A pour des durées supérieures.

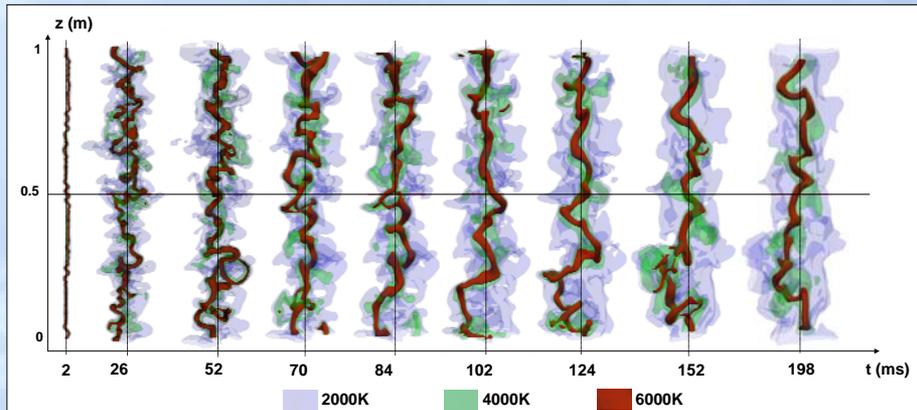


Fig. 1. Surfaces isothermes d'un arc électrique (en configuration périodique de période 1m) libre dans l'air à la pression atmosphérique et pour un courant de 100A. (Maillage de 1 millions de cellules)

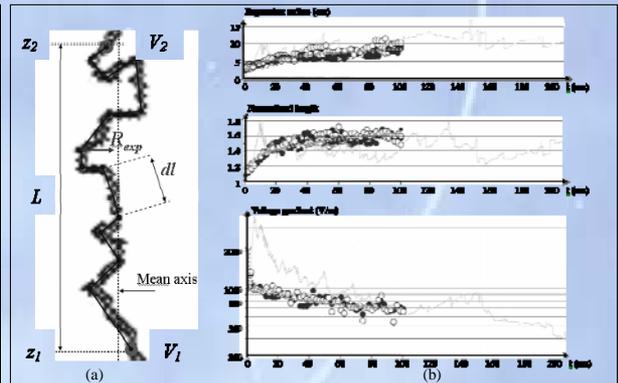


Fig. 2 (b) Résultats expérimentaux (points pleins et creux) et numériques (en gris) pour les trois paramètres définis par Tanaka (a):

- Rayon d'expansion R_{exp} : distance maximal de l'arc par rapport à l'axe moyen
- Longueur normalisée: ratio de la longueur réel de l'arc (somme des éléments de longueur dl) par la distance séparant deux points z_1 et z_2 (ici $L=1m$).
- Gradient de potentiel: ratio de la différence de potentiel par la longueur réel.

Interaction entre un arc et une surface

⇒ Certification des matériaux aéronautiques au foudroiement,

- Essais expérimentaux au CEAT : application d'une onde de courant foudre sur des échantillons de fuselage
- Simulation en courant continu

⇒ Évaluation de l'échange d'énergie thermique en courant continu en fonction de:

- la forme de l'écoulement:
 - Configuration « pointe plan » Fig. 4 et 5
 - Configuration « jet deviating electrode » (Fig. 6 et 7): Ce dispositif contient un déviateur à l'extrémité de l'électrode
- la valeur de composante continue du courant (selon norme)
- la nature du matériau aéronautique (Aluminium, composite)

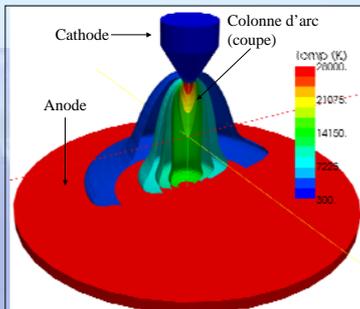


Fig. 4. Configuration « pointe plan ». Répartition de la température dans le plasma d'un arc de 200A dans l'air à $t=25ms$. L'anode est de l'aluminium et la cathode du tungstène.

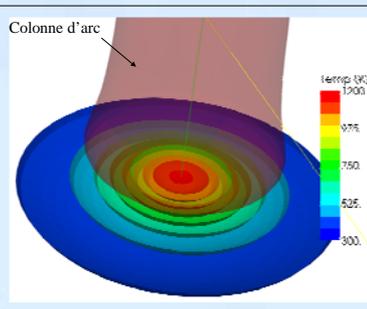


Fig. 5. Surfaces isothermes dans le matériau. A cet instant (25ms), le point de fusion du matériau est dépassé (933K pour l'aluminium), mais pas celui d'ébullition (2300K).

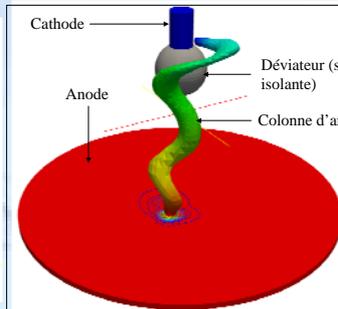


Fig. 6. Configuration « jet deviating electrode ». Surface isotherme à 8000K d'un arc de 200A dans l'air à $t=10ms$. L'anode est de l'aluminium et la cathode du fer.

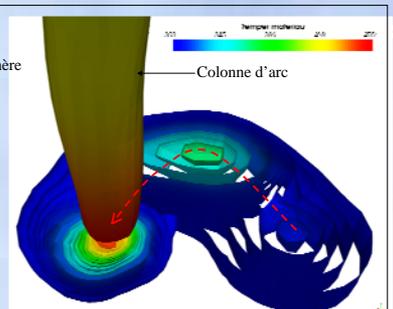


Fig. 7. Champ de température dans le matériau. A cet instant (15ms), le point de fusion du matériau n'est pas dépassé. On peut déduire en pointillés rouge la trajectoire du pied d'arc