

JOURNAL INTERNATIONAL DE TECHNOLOGIE, DE L'INNOVATION,
DE LA PHYSIQUE, DE L'ENERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT

Etude expérimentale de la phase d'extinction d'un arc électrique entre barres de distribution en condition aéronautique

L. Hermette, P. Teulet, Y. Cressault



ISSN : 2428-8500

DOI : 10.18145/jitipee.v3i1.142

Le sujet de cet article a été présenté oralement lors de la manifestation conjointe du colloque sur les arcs électriques et du workshop sur les arcs et contacts électriques (CAE-ACE) les 20 et 21 mars 2017 à Nancy (France).

L'article a fait l'objet d'une expertise indépendante par deux spécialistes du domaine.

Etude expérimentale de la phase d'extinction d'un arc électrique entre barres de distribution en condition aéronautique

Loïc Hermette⁽¹⁾, Philippe Teulet⁽²⁾, Yann Cressault⁽²⁾

⁽¹⁾ IRT Saint-Exupéry, 118 route de Narbonne, 31432 Toulouse cedex4, France

⁽²⁾ Université de Toulouse, UPS, INPT, LAPLACE (Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie), 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse cedex9, France

loic.hermette@irt-saintexupery.fr

Résumé – *Dans le milieu aéronautique les risques d'apparition d'arcs électriques ont augmenté avec l'augmentation de la puissance électrique embarquée. Ces arcs électriques peuvent être à l'origine de dégradations et/ou d'incendies. Les travaux présentés ont pour objectif la caractérisation de l'impact de deux isolants, nylon et époxy, sur le comportement d'un arc établi entre deux barres métalliques. Ces travaux ont été réalisés pour différents paramètres (fréquence d'alimentation, matériaux utilisés, ...), afin de mettre en évidence l'impact de ceux-ci sur le comportement de l'arc.*

Mots clés : Arc électrique, FOD, Extinction d'arc, Contamination par vapeurs d'isolant, aéronautique

DOI : 10.18145/jitipee.v3i1.142

Introduction

La puissance électrique embarquée dans les avions a considérablement augmenté ces dernières années. Aujourd'hui, la barre des 1 MW de puissance électrique embarquée a été dépassée avec des tensions de 230 V alternatif et 540 V continu. Avec cette augmentation de puissance, le risque d'apparition d'arcs électriques créant un court-circuit est accru. Ces arcs, dits de défaut [1], peuvent être à l'origine de dégradations ou d'incendies. C'est la raison pour laquelle le secteur aéronautique travaille sur des systèmes de protection ou de détection, en réponse à ceux-ci [2]. Cette étude s'intéresse aux arcs de défaut créés entre deux bus barres (ou barres de distribution). Ces arcs ont souvent, comme origine, la présence d'objets conducteurs étrangers à l'équipement ou FOD (Foreign Object Damage) en anglais. Ceux-ci sont de natures diverses (vis, rondelles, écrous...). Une des solutions proposées pour pallier aux problèmes des arcs électriques consiste à recouvrir les barres de distribution par un isolant répondant à deux objectifs : empêcher les pièces sous tension d'être à nues et éviter ainsi le

court-circuit; réduire la durée de vie de l'arc en améliorant les propriétés diélectriques du milieu environnant par vaporisation de l'isolant résultant de la présence de l'arc électrique. L'étude de l'impact des isolants sur l'extinction de l'arc est réalisée selon les deux aspects expérimental et théorique. Les résultats présentés dans ce papier concernent la phase expérimentale.

Dans cette étude expérimentale, l'impact des paramètres suivants sur la durée de vie d'un arc électrique a été évalué:

- le type d'isolant recouvrant les barres,
- l'épaisseur de l'isolant recouvrant les barres,
- la fréquence de l'alimentation électrique,
- le matériau utilisé pour les barres de distributions,
- l'épaisseur des barres de distribution,
- la puissance.

L'objectif de cette étude paramétrique est de pouvoir fournir aux utilisateurs de barres de distribution dans des applications aéronautiques, des préconisations de conception afin de limiter l'impact des arcs de défaut sur leurs dispositifs. La durée de vie de l'arc est mesurée à partir des résultats synchronisés des mesures électriques et des images de la caméra rapide. L'impact de la fréquence et du type d'isolant sur la durée de vie de l'arc est analysé.

1. Dispositif expérimental

Les travaux effectués pour cette étude ont été réalisés sur le dispositif schématisé ci-dessous.

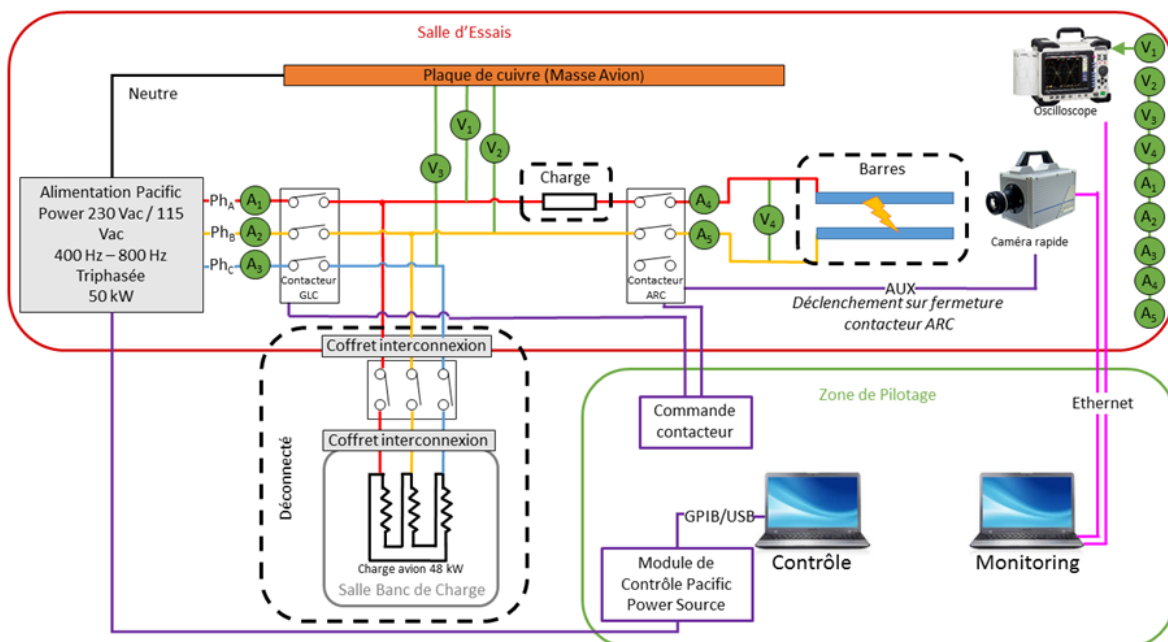


Figure 1. Dispositif expérimental

Ce dispositif est alimenté grâce à une alimentation Pacific 3060-MSA de 50 kW, pouvant fonctionner en alternatif sur une plage de 350 à 1000 Hz. L'alimentation fonctionne pour un défaut entre phase, la valeur maximale théorique du courant étant de $175 \text{ A} \pm 10\%$ sous une tension composée de 400 V. Des mesures de courant et de tension sont réalisées en sortie de l'alimentation, mais aussi aux bornes de l'arc. Ces mesures électriques sont corrélées à des

enregistrements vidéo via une caméra rapide (Photron SA4) permettant de remonter aux vitesses de déplacement de l'arc.

Les barres métalliques représentatives des barres de distribution sont en cuivre argenté ou en aluminium, chacune de 3 mm d'épaisseur. Ces barres sont recouvertes d'époxy ou de nylon, de 100 ou 200 μm d'épaisseur. La formule de la résine d'époxy est $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$. Celle du nylon utilisé, appelé rilsan R11 ou PA11 pour polyamide 11 est $\text{H}_2\text{N}[(\text{CH}_2)_{10}\text{CONH}](\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$.

Une saignée est réalisée au centre des barres en retirant l'isolant à proximité (point A sur la Figure 2) afin de laisser l'arc se déplacer sur celles-ci. Une résistance de limitation est placée en série avec l'arc pour maîtriser le courant maximum injecté à celui-ci.



Figure 2. Photographie des barres en aluminium de 3 mm, recouvertes de 100 μm d'époxy. Les barres sont placées face à face. Un brin d'étain de 1,3 mm et de 1,5 mm^2 de section est placé en bout de barre sur la partie à nue (points B sur la Figure 2) pour amorcer la décharge. Les barres sont placées en V pour favoriser la propagation de l'arc vers l'extrémité des barres.

2. Résultats

Dans cette partie, nous mettons en évidence l'impact de la fréquence et de la composition des barres de distribution (matériau de la barre et isolant) sur l'extinction de l'arc.

2.1. Impact de la fréquence

Pour des raisons économiques et de gain de masse, le système électro-hydraulique qui assurait aux réseaux électriques avion à une fréquence fixe de 400 Hz n'est plus utilisé sur les nouveaux appareils. Aujourd'hui, la fréquence d'alimentation des avions de nouvelle génération devient variable, pouvant osciller entre 360 Hz et 800 Hz en condition normale [3]. Pour vérifier l'impact de la fréquence sur la durée de vie de l'arc, des essais à 400 Hz et à 800 Hz ont été réalisés. Les photographies (a) et (b) de la Figure 3 représentent ces deux essais sur des barres en aluminium de 3 mm d'épaisseur avec un recouvrement de 100 μm d'époxy.

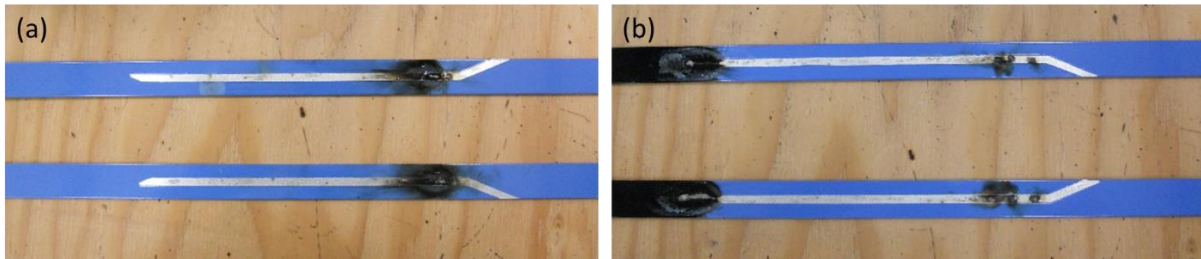


Figure 3. Essai sur des barres de 3 mm d'aluminium recouvertes de 100 µm d'époxy sous 400 V (a) à 400 Hz, (b) à 800 Hz

Il est clair que l'augmentation de la fréquence entraîne des dégâts liés à l'arc plus importants. Dans l'ensemble des configurations étudiées lors des campagnes d'essais, aucun arc ne s'est arrêté de façon naturelle sous 800 Hz, contrairement aux essais sous 400 Hz (voir Tableau 1). Une des hypothèses avancée pour expliquer ce comportement repose sur le fait que l'augmentation de la fréquence diminue le temps pendant lequel l'arc est moins énergétique. De ce fait, même si les propriétés diélectriques du milieu augmentent avec la vaporisation de l'isolant, ceci ne permet pas de compenser l'augmentation de la fréquence d'alimentation de l'arc.

2.2. Impact de la composition des barres

Cette partie étudie l'impact du matériau utilisé pour les barres, ainsi que celui de l'épaisseur et du type d'isolant sur la durée de vie de l'arc. Le Tableau 1 donne un échantillon des résultats obtenus à la suite de la campagne d'essais. Les essais choisis ont tous été réalisés sous 400 Hz et sont représentatifs des comportements observés. Ces travaux ont révélé trois observations importantes autour de l'isolant :

- (1) Les temps d'arc sont plus importants avec des barres en aluminium plutôt qu'avec des barres en cuivre. Cet écart peut s'expliquer par la formation d'oxyde d'aluminium qui, sous des températures élevées, crée une réaction de combustion. Cette dernière dégage une quantité d'énergie importante et vient modifier le bilan énergétique de l'arc en lui apportant de l'énergie. Ce phénomène a déjà été observé sur des câbles aéronautiques pour des fréquences similaires [1]. Une piste pour l'approfondissement de cette étude serait la réalisation d'un bilan énergétique en prenant en compte l'impact de la formation d'alumine.
- (2) La durée de vie d'arc est plus faible lorsque l'isolant recouvrant les barres est du nylon. Ce comportement est difficile à expliquer car les deux molécules ont des compositions très proches. Pour comprendre la provenance de cet écart, un modèle numérique 1D de la phase d'extinction d'un arc stabilisé par paroi est en cours de développement, celui-ci étant basé sur les travaux de Mercado-Cabrera [4]. À partir de ces travaux, les compositions des plasmas ainsi que leurs conductances pendant la phase d'extinction de l'arc pourront être comparées.
- (3) L'impact de l'épaisseur de l'isolant est discutable selon les cas. Contrairement à ce que l'on pourrait penser intuitivement, l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant ne réduit pas systématiquement le temps de vie de l'arc. Dans le cas de l'époxy par exemple, la durée de vie de l'arc diminue lorsque l'épaisseur de l'isolant augmente, notamment dans le cas de l'aluminium. Pour le nylon ce comportement n'est pas vérifié,

l'augmentation de l'épaisseur d'isolant n'a pas d'impact significatif sur le temps de vie de l'arc. De plus, dans le cas du cuivre avec nylon, il semblerait que l'augmentation de l'épaisseur d'isolant entraîne un temps de vie de l'arc plus long. Pour le moment aucune explication à ce comportement n'a été trouvée, une campagne d'essais supplémentaires a été planifiée afin d'appréhender cette problématique.

Nature métal	Isolant		Temps d'arc (ms)				
	Nature	Épaisseur (µm)					
Al - Cu	Époxy - Nylon	100 - 200	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	moyen
Al	Époxy	100	40,8	48,4	28,3	58,3	43,95
Al	Époxy	200	13,1	7,1	7,4	19,8	11,85
Al	Nylon	100	8,2	6,6	20,7	11	11,625
Al	Nylon	200	5,8	11	13,4	19,3	12,375
Cu	Époxy	100	23,2	7,1	21,5	8,3	15,025
Cu	Époxy	200	7,1	9,7	4,4	28,3	12,375
Cu	Nylon	100	1,7	3,4	0,9	3,3	2,325
Cu	Nylon	200	5,6	4,1	2	4,3	4

Tableau 1. Échantillon des résultats des essais réalisés sous 400 Hz

Conclusion

Cette étude paramétrique a permis de mettre en relief l'impact de la fréquence des signaux électriques sur la durée de vie d'un arc. Ainsi, plus la fréquence du réseau électrique AC augmente, plus la probabilité d'extinction de l'arc diminue. De même, ce travail a montré que la durée de vie de l'arc diminue avec l'utilisation de cuivre dans la fabrication des barres et pour l'utilisation de nylon comme isolant. Ces informations permettent aux industriels de préconiser des choix lorsqu'ils établissent leurs règles de conception.

Afin de mieux comprendre l'influence de l'épaisseur de l'isolant sur la durée de vie de l'arc une étude expérimentale complémentaire doit être réalisée.

Enfin, la mise en place d'un modèle numérique 1D de la phase d'extinction de l'arc nous permettra de comparer, aux données expérimentales, les durées de vie de l'arc.

Références

- [1] H. El-Bayda (2012), Étude du transfert d'énergie entre un arc de court-circuit et son environnement : application à l'«Arc Tracking». Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse III
- [2] Potter Th. E., M. Lavado. And Engineer, P. S. P. D. (2003), Arc Fault Circuit Interruption Requirements for Aircraft Applications. Texas Instruments.

- [3] F. Barruel (2005), Analyse et conception des systèmes électriques embarqués. Application aux réseaux de bord d'avion. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fournier, Grenoble I
- [4] Mercado Cabrera (2003), Modélisation de la cinétique chimique d'un plasma en extinction dans un disjoncteur basse tension. Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse III.