



HAL
open science

Etude par radiographie ultrarapide des transformations et du rôle des matériaux lors du fonctionnement d'un fusible

Xavier Just, Margie P. Olbinado, Pierre Lhuissier, Jean-Louis Gelet,
Alexander Rack, Olivier Bonnefoy, Gérard Thomas, Rémy Dendievel,
Jean-Marc Chaix

► To cite this version:

Xavier Just, Margie P. Olbinado, Pierre Lhuissier, Jean-Louis Gelet, Alexander Rack, et al.. Etude par radiographie ultrarapide des transformations et du rôle des matériaux lors du fonctionnement d'un fusible. Journées Annuelles SF2M - JA 2017 "Matériaux, Microstructures et Fonctionnalités", Section Sud-Est de la SF2M; Laboratoire MATEIS de l'INSA de Lyon; Laboratoires CETHIL de l'INSA de Lyon; Membres de la fédération d'ingénierie Lyon Saint Etienne (Ingélyse); Membres de l'Institut Carnot I@L., Oct 2017, Lyon, France. hal-01538109

HAL Id: hal-01538109

<https://hal.science/hal-01538109>

Submitted on 13 Jun 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude par radiographie ultrarapide des transformations et du rôle des matériaux lors du fonctionnement d'un fusible

X. Just^a, M. P. Olbinado^b, P. Lhuissier^a, J.-L. Gelet^c, A. Rack^b, O. Bonnefoy^d, G. Thomas^d, R. Dendievel^a, J.M. Chaix^a

^a Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, SIMaP, Grenoble, France

^b European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, France

^c MERSEN France, Saint-Bonnet-de-Mure, France

^d Ecole des Mines, LGF, Saint Etienne, France

Résumé

La radiographie RX ultrarapide, jusqu'à $5 \cdot 10^6$ images/sec, a été utilisée pour étudier *in situ* le comportement des éléments d'un fusible industriel, lame métallique et sable de remplissage, dans des conditions coupures ultrarapides (« grands di/dt », pour lesquelles la coupure doit être assurée en quelques millisecondes. Ce travail a permis de visualiser les différentes étapes de la coupure dans ces conditions extrêmes, en particulier les premiers instants de la coupure, de mesurer la vitesse de phénomènes comme la consommation de la lame d'argent, et de mettre en évidence le rôle du sable de remplissage sur l'efficacité du fusible.

Introduction

Un fusible industriel (Figure 1) est constitué d'un élément métallique, assurant le passage du courant en situation normale, noyé dans un milieu constitué de sable de silice compacté, l'ensemble étant enfermé dans une enveloppe céramique. En cas de court-circuit, l'échauffement rapide du métal par effet Joule conduit à sa fusion, la dispersion du liquide devant couper le circuit électrique. En pratique, le circuit extérieur n'est pas purement résistif, mais comporte des effets d'inductance et de condensateur, et un courant se maintient momentanément par la formation d'un arc électrique accompagné d'un certain nombre de phénomènes : formation de gaz et de plasma, expulsion de liquide, montée rapide en pression, échanges thermiques, dispersion des différentes phases dans le milieu granulaire, fusion locale du milieu granulaire et déplacement des liquides formés, solidification... Ces différents phénomènes contribuent à la fois à faire passer un courant, créer localement de la chaleur, absorber l'énergie produite, ce qui conduit (ou non...) à l'extinction de l'arc et à l'arrêt du passage du courant. L'objectif du travail de thèse de X. Just [1] était de comprendre le comportement des différents matériaux et le rôle du milieu granulaire soumis à ces conditions extrêmes à la fois en temps (0.1 à quelques msec) et en température (plus de 10000K au cœur de l'arc).

La série d'expériences présentées ici, réalisée à l'ESRF, avait pour objectif de visualiser les phénomènes qui se produisent dans des coupures particulièrement rapides utilisées pour la protection des dispositifs électroniques de puissance dans des circuits en courant continu.

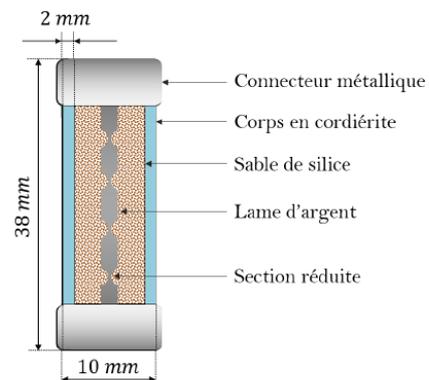


Figure 1 Schéma du fusible 10-38 utilisé dans les essais.

Matériaux et méthodes

Les essais ont été réalisés sur des fusibles cylindriques de diamètre 10 mm et de longueur 38 mm fabriqués par MERSEN (Figure 1). Par rapport à la version industrielle, plusieurs variantes ont été préparées et testées, notamment des configurations sans sable et avec du sable aggloméré ou non.

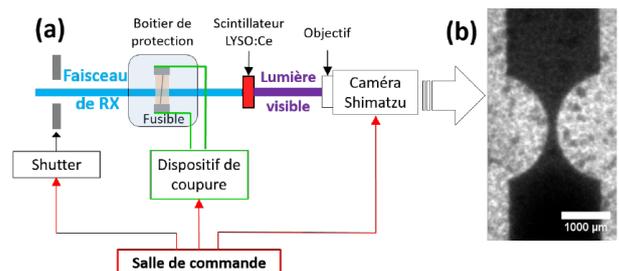


Figure 2. (a) Schéma du montage expérimental. La synchronisation de l'ouverture du faisceau ("shutter"), de la camera et du déclenchement de la décharge de capacité est pilotée depuis la salle de commande. (b) Exemple typique d'une image de radiographie X pour un fusible 10-38 contenant du sable S8 silicate ($V_x = 14 \mu\text{m}$). L'énergie du faisceau est de 30 keV.

Le protocole d'essais (Figure 2) consistait à tester les échantillons sous plusieurs conditions électriques (tension, longueur de la boucle du circuit), en orientant l'élément fusible de façon à ce qu'il se présente sur la tranche ou de

face et enfin à différentes fréquences de prise de vue. La mémoire de la caméra ne permettant d'enregistrer que 128 images, la cadence a été adaptée pour visualiser soit l'ensemble de la coupure (1 image / 100 μ sec) soit le début du phénomène (1 image / 0,2 μ sec). Les mêmes conditions électriques ont été répétées pour vérifier la répétabilité et acquérir les informations sur l'ensemble de la durée de l'arc. Les grandeurs électriques aux bornes du fusible étaient mesurées de façon synchrone pour coupler les informations électriques et les observations (Figure 3).

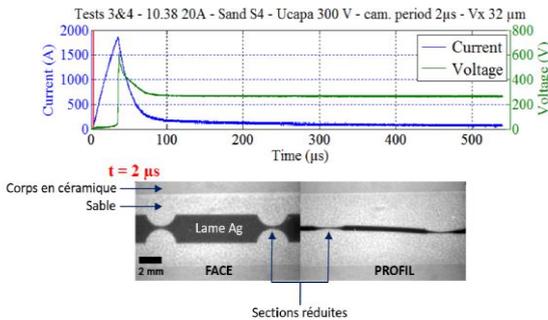


Figure 3 Evolution des grandeurs électriques lors de la coupure, et radiographies initiales

Résultats

Les observations *in situ* couplées aux acquisitions électriques (Figure 4) ont permis d'obtenir des informations sur le comportement de l'arc selon son environnement (air, sable, agglomération) et, réciproquement, les effets de cet environnement sur l'arc (Figures 5).

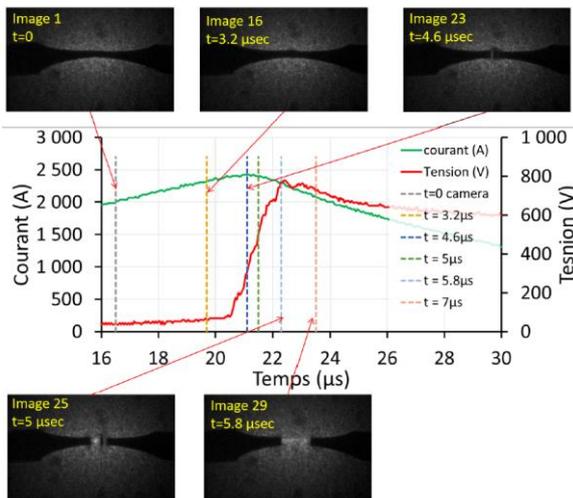


Figure 4 Etapes d'apparition de l'arc électrique au niveau d'une section réduite de diamètre 2.3 mm dans un fusible contenant du sable aggloméré sous une tension de 450 V.

Les principales conclusions sont les suivantes :

- L'arc crée une forte surpression lors de son apparition, qui a pour conséquences un mouvement des grains de sable et l'éjection de l'argent liquide (Figure 5).
- Les fusibles contenant du sable aggloméré assurent la meilleure absorption de l'énergie de l'arc (Figure 6).
- Le sable permet de confiner l'arc et absorbe l'énergie de l'arc. Outre l'amélioration de la coupure, il semble empêcher le fusible d'exploser.

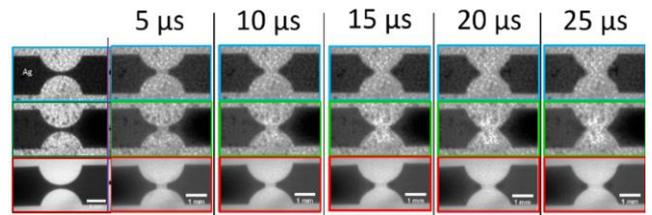


Figure 5 Comparaison de l'évolution de fusibles sans sable (bas), avec sable non aggloméré (milieu) et avec sable aggloméré (haut) (400°C)

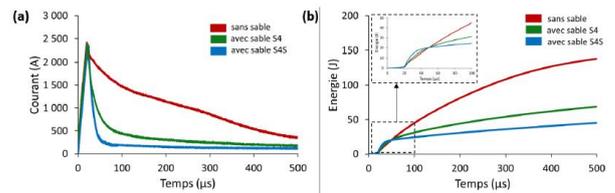


Figure 6 Comparaison de mesures de courant (a) et de la puissance intégrée depuis le début de la coupure i.e: l'énergie de l'arc pour une section réduite (b). La coupure a été réalisée avec une tension de 400V pour les 3 fusibles 10-38 avec du sable silicate (bleu), du sable non silicate (vert) et sans sable (rouge).

Des mesures ont aussi pu être réalisées sur la dynamique des phénomènes :

- Les vitesses d'érosion des lames (burn-back) et l'énergie de l'arc nécessaire à cette consommation d'argent (Figure 5). Ces données seront utiles à la modélisation [1].
- Les temps caractéristiques : le canal d'arc se forme dans les 20 μ s après l'apparition de l'arc.

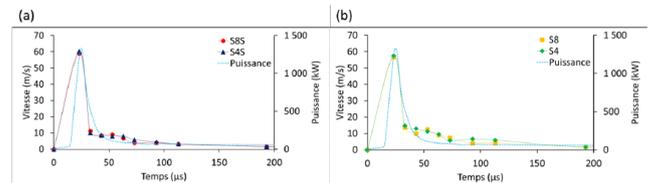


Figure 7 Vitesse d'érosion des sections réduites pour des sables silicatés (a) ou non non-silicatés : S4 et S8 (b), et puissance électrique correspondante.

Les observations aux temps longs ont permis d'étudier la cinétique de formation des bras latéraux dans les fusibles avec sable. Dans les fusibles sans sable, les lames d'argent sont entièrement consommées.

Conclusion

Pour poursuivre ces travaux, l'influence des paramètres étudiés sera évaluée et les résultats seront comparés à ceux obtenus pour les fusibles de référence testés sur le banc d'essai industriel de la société Mersen.

Références

1. X. Just, Interaction entre arc et matière granulaire lors d'une coupure ultrarapide dans un fusible, Thèse, Université Grenoble Alpes, 2016