

Sujet de thèse Etude du comportement de l'arc électrique dans la préchambre et chambre d'un disjoncteur basse tension

Contexte et enjeux

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une collaboration scientifique de longue date entre le laboratoire LAPLACE (Equipe AEPPT) et l'entreprise HAGER portant sur l'étude des dispositifs de coupure basse tension [Que-1][Lu-1] . Ainsi, dans un monde de plus en plus compétitif, les notions de coûts et la miniaturisation des systèmes (notamment l'architecture des chambres de coupure) prennent une part croissante. En effet les boucles de reprise nécessitent un investissement conséquent autant en temps que financièrement. Pour augmenter sa compétitivité l'entreprise HAGER a décidé de développer ses connaissances sur le déplacement dynamique de l'arc électrique au sein des dispositifs de coupure.



La société HAGER produit et conçoit des dispositifs électromécaniques (www.hager.fr) pour la protection des biens et des personnes contre les défauts d'origine électrique. Hager est ainsi un acteur central du domaine de la coupure électrique basse et moyenne tension. Dans ses centres de R&D et de BE, la société HAGER utilise de nombreux moyens expérimentaux pour la mise au point des produits en coupure (basse et moyenne tension) de l'arc électrique.



Le Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie (**LAPLACE**), dirigé par Oliver Eichwald est une Unité Mixte de Recherche du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), de l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT) et de l'Université Toulouse 3-Paul Sabatier (UPS). Localisé entre autres sur le campus de l'Université Paul Sabatier, le LAPLACE héberge la plus forte concentration de recherche en Génie Electrique et en Plasma de France et couvre de manière intégrée le continuum « plasma/matériaux/systèmes ». En particulier l'équipe Arc Electrique et Procédés Plasmas Thermiques du Laplace est spécialisée dans le développement de modèles CFD pour décrire le comportement des arcs électriques et des plasmas thermiques.

Ce travail de thèse s'inscrit dans une collaboration pérenne entre partenaires industriel et académique avec un encadrement par deux membres de l'équipe AEPPT du LAPLACE qui assureront la codirection de la thèse avec l'ambition d'une production scientifique d'excellence.

Objectifs techniques et scientifiques

Le disjoncteur basse-tension occupe une place importante dans la protection des réseaux électriques. Une coupe d'un de ces dispositifs est représentée sur la figure 1 où l'on peut reconnaître la chambre de coupure (où est schématisé un arc). Lors d'un problème sur le réseau, détecté par le module thermique ou magnétique, un arc est créé entre les contacts. Sous l'influence de différentes forces, principalement force de pression et force magnétique, l'arc est poussé vers la préchambre puis vers la chambre de coupure. Cette dernière est constituée de lames qui fragmentent l'arc afin de l'étirer et de multiplier les chutes de tension aux accrochages. Ainsi, le principe de la coupure en basse-tension consiste à déplacer l'arc le plus rapidement possible vers la chambre de coupure pour créer un limiteur de courant en faisant en sorte que la tension aux bornes de l'arc dépasse celle du réseau.

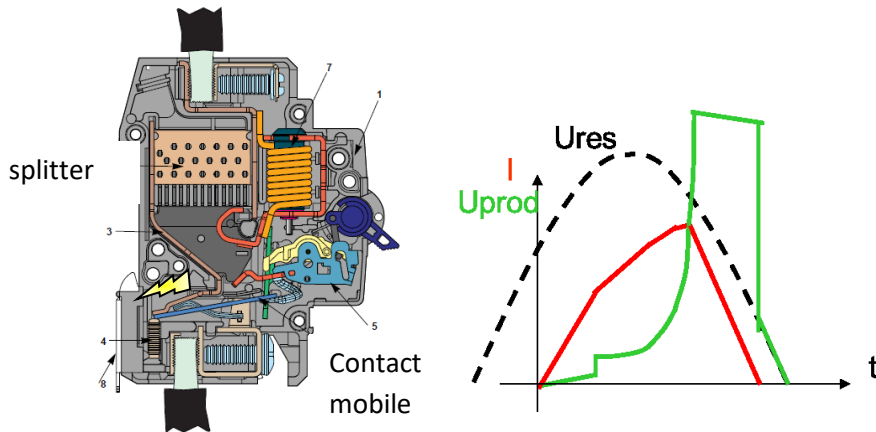


Figure 1 : Schéma de principe de coupure dans le disjoncteur basse-tension

L'arc électrique est donc le cœur de la fonction coupure. Sa maîtrise est essentielle et nécessite une meilleure connaissance de ses propriétés afin de réduire l'encombrement (taille) des dispositifs, tout en respectant les normes toujours plus contraignantes. Ces études doivent aussi permettre de mieux comprendre les phénomènes physiques présents afin de mieux maîtriser le comportement des disjoncteurs lors de la coupure. Ainsi, les deux verrous principaux liés au fonctionnement du disjoncteur en présence de l'arc sont :

- La stagnation de l'arc sur les contacts ou lors du déplacement vers la chambre de coupure.
- L'entrée de l'arc dans les séparateurs et l'extinction de ce dernier.

L'objectif global de la thèse est d'appréhender la stagnation de l'arc sur les contacts ou lors du déplacement vers la chambre de coupure qui est un paramètre clé du fonctionnement du dispositif. L'originalité de ce projet de recherche porte sur l'étude du déplacement, de la commutation de l'arc, l'utilisation de matériaux réalistes d'un point de vue industriel ainsi que sur l'impact de coupures successives sur les performances du système. Cette étude consistera donc à continuer de développer des moyens expérimentaux nécessaires pour quantifier les phénomènes et de valider les différents modèles qui seront réalisés autour de ces points.

Sur le plan de la modélisation, les points d'intérêts sont les suivants :

- Traitement par le modèle du pouvoir de limitation
- Accélération/optimisation des temps de calcul
- Prise en compte du mouvement de rotation du contact mobile
- Ablation des Matériaux (plastiques, métalliques)

Sur le plan expérimental :

- Effet de l'oxydation des rails, et de l'érosion suite à plusieurs coupures
- Effet de l'ablation de matière plastique (Vapeur organique) sur le comportement de l'arc.
- Effet des matériaux de contact sur la commutation (en fonction de la vitesse du Contact mobile etc...)
- Taille de la préchambre (vitesse de déplacement de l'arc dans les splitter)
- Influence de la nature du matériau des splitters (pour le coté magnétique (fer et cuivre par exemple))
- Influence de la taille des échappements

Déroulé de la thèse :

1/ Etude bibliographique sur la modélisation des disjoncteurs basse tension et prise en main des codes de l'équipe AEPPT.

2/ Amélioration de l'outil existant au sein de l'équipe avec notamment la prise en compte du couplage avec le réseau : actuellement une onde de courant est imposée en donnée d'entrée du modèle sans que pour autant elle soit modifiée par l'augmentation de la tension lors de l'arrivée de l'arc dans la chambre. Ce point sera implémenté.

3/ Travaux expérimentaux :

Dans la mesure du possible l'ensemble des développements théoriques s'appuieront sur des confrontations avec des résultats expérimentaux. Ces derniers porteront sur des études paramétriques et consisteront en des mesures électriques et de la visualisation par caméra rapide sur une chaîne d'acquisition synchronisée. Seront particulièrement étudiés :



- L'influence de la vitesse d'ouverture du contact sur le déplacement de l'arc.
- L'influence de la nature des rails (Plus ou moins oxydés).
- L'influence des dimensions des volumes amont et aval de la chambre.

4/ Travaux de modélisation : Les travaux de modélisation lors de cette dernière étape porteront sur la prise en compte de géométries proches des réelles avec des pièces en rotation (Contact).

Profils, capacités et connaissances recherchées

- Ingénieur(e) ou Master Recherche en Mécanique des Fluides, énergétique et thermique, plasmas et procédés.
- Compétences en mécanique des fluides numérique et procédés multi-physiques.
- Compétences en techniques expérimentales (imagerie rapide, mesures électriques)
- Curiosité, sens physique et pratique, rigueur scientifique et rédactionnelle, capacités d'analyse et de synthèse, autonomie dans la recherche de solutions à des problèmes complexes,
- Prêt pour le développement informatique en environnement calcul scientifique. Formation initiale et expérience antérieure (stage) appréciée en mise en œuvre d'outils CFD volumes finis avec un objectif de développement/validation de méthodes/modèles.
- Une connaissance préalable de la physique des plasmas sera un plus.

Encadrement, modalités et candidatures

Equipe projet	
 www.laplace.univ-tlse.fr	 www.hager.fr
<p>Jean – Jacques Gonzalez gonzalez@laplace.univ-tlse.fr</p> <p>Directeur de recherche CNRS, équipe Arc Electrique et Procédés Plasmas Thermiques (AEPPT).</p> <p>Pierre Freton Pierre.freton@laplace.univ-tlse.fr</p> <p>Professeur des Universités, resp. équipe Arc Electrique et Procédés Plasmas Thermiques (AEPPT)</p> <p>www.linkedin.com/in/pierre-freton-92472072 □</p>	<p>Denis Deckert : Responsable métier bureau d'étude</p> <p>Patrice Joyeux : Dr ingénieur Pôle de compétence Génie électrique</p>

- CDD 3 ans, statut doctorant CNRS – Montant 2135€ brut.
- Début visé automne 2022 – début anticipé possible
- Localisation Toulouse (LAPLACE) 80% /Obernai (HAGER) 20%

Candidature directement auprès d'un des encadrants par e-mail avec CV et lettre de motivation.

Éléments bibliographiques issus des collaborations antérieures

[Lu-1] J. Lu, « Caractérisation du comportement du plasma dans un disjoncteur basse tension par le développement d'un outil numérique et d'expériences associées. » Thèse soutenue le 19 novembre 2020, Université Toulouse 3, Paul Sabatier.

[Lu-2] J. Lu, J.J. Gonzalez, P. Freton Pierre, P. Joyeux, G. Déplaudé « Experimental Studies of Arc Motion Between Two Parallel Runners with Splitter Plates ». June 2020 Plasma Physics and Technology

[Lu-3] J. Lu, J.J. Gonzalez, P. Freton Pierre, P. Joyeux, G. Déplaudé, « Experimental and simulation studies on the voltage drop of arc in low voltage circuit breaker » November 2019, Plasma Physics and Technology 6(3) DOI: 10.14311/ppt.2019.3.256

[Que-1] J. Quéméneur, « Etude des forces à l'origine du déplacement d'un arc électrique dans un disjoncteur basse-tension », Thèse soutenue le 14 avril 2016, Université Toulouse 3, Paul Sabatier.

[Que-2] J. Quéméneur, P. Freton, M. Masquere, J.J. Gonzalez, P. Joyeux, « Cathode Arc Root Movement: Models Comparison », Plasma physics and Technology journal vol 2, ISSN: 2336-2626 (2015)

[Que-3] J. Quéméneur, P. Freton, J.J. Gonzalez, M Masquère, P Joyeux, « Electrical arc movement and commutation modelling in the Low-Voltage Circuit Breaker », HTPP Munich 2016

[Que-4] J. Quéméneur, M. Masquère, P Freton, J.J. Gonzalez, P Joyeux, « Experimental investigations on arc movement and commutation in the Low-Voltage Circuit Breaker », HTPP Munich 2016

[Que-5] J. Quéméneur, J. Lu, P. Freton, J.J. Gonzalez, « Arc motion in low voltage circuit breaker (LVCB) experimental and theoretical approaches », Scientific& Academic Publishing, 2018. hal-02324102

[Que-6] J. Quemeneur, P. Freton, M. Masquere, J.J. Gonzalez, P. Joyeux, « Cathode Arc Root movement in low voltage circuit breaker: Models Comparison », FSO XXI République Tchèque 2015.

Thesis: Study of the behaviour of an electric arc in the pre-chamber and chamber of a low voltage circuit breaker

Background and challenges

This study is part of a long-standing scientific collaboration between the LAPLACE laboratory (AEPPT team) and the company HAGER concerning the study of low-voltage switching devices [Que-1][Lu-1]. Thus, in an increasingly competitive world, the notions of the costs and the miniaturization of the systems (in particular the architecture of the breaking chambers) take an increasing role.. To increase its competitiveness, HAGER has decided to develop its knowledge of the dynamic movement of the electric arc within the breaking devices.



HAGER produces and designs electromechanical devices (www.hager.fr) for the protection of goods and people against electrical faults. Hager is a central player in the field of low and medium voltage electrical switching. In its R&D and design centres, HAGER uses a number of experimental facilities for the development of products in the field of arc fault interruption (low and medium voltage).



The Plasma and Energy Conversion Laboratory (LAPLACE), directed by Oliver Eichwald, is a joint research unit of the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), the Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT) and the Université Toulouse 3-Paul Sabatier (UPS). Located on the campus of the Paul Sabatier University, LAPLACE hosts the highest concentration of research in Electrical Engineering and Plasma in France and covers the "plasma/materials/systems" continuum in an integrated manner. In particular, the Electric Arc and Thermal Plasma Processes team at Laplace is specialized in the development of CFD validated models to describe the behaviour of electric arcs and thermal plasmas

This thesis is part of a long-term collaboration between industrial and academic partners, with two members of the LAPLACE AEPPT team co-directing the thesis with the aim of producing excellent scientific results.

Technical and scientific goals

The low-voltage circuit breaker plays an important role in the protection of electrical networks. A cross-section of one of these devices is shown in Figure 1, where the arcing chamber can be seen. When a fault occurs in the network, detected by the thermal or magnetic modules, an arc is created between the contacts. Under the influence of different forces, mainly pressure and magnetic forces, the arc is pushed towards the pre-chamber and then towards the breaking chamber. The chamber is made up of splitters that break up the arc in order to stretch it and multiply the voltage drops at the contacts. Thus, the principle of low-voltage breaking consists of moving the arc as quickly as possible towards the breaking chamber to create a current limiter by ensuring that the voltage across the arc exceeds that of the network.

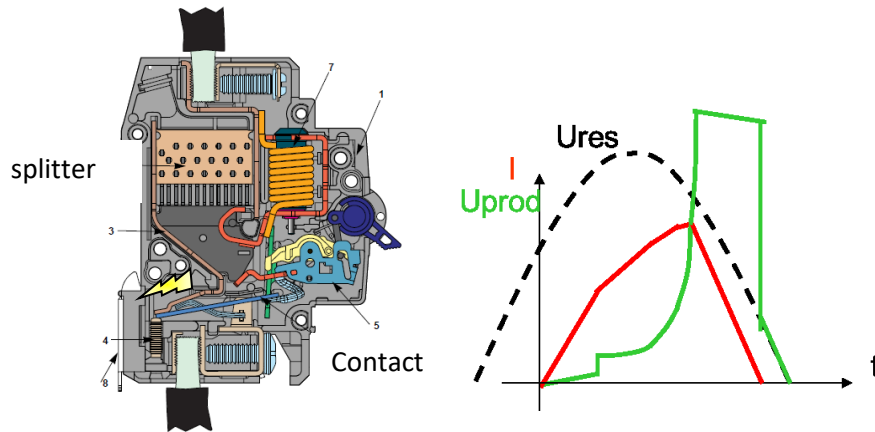


Figure 1 : Principle diagram of breaking in the low-voltage circuit breaker

The electric arc is therefore the key to the breaking function. Its control is essential and requires a better knowledge of its properties in order to reduce the size of the devices, while complying with the ever more restrictive standards. These studies must also provide a better understanding of the physical phenomena involved in order to better control the behaviour of circuit breakers during breaking. Thus, the two main issues related to the operation of the circuit breaker in the presence of the arc are

- Stagnation of the arc on the contacts or when moving to the cut-off chamber.
- The entry of the arc into the splitters and the extinction of the arc.

The overall objective of the thesis is to understand the stagnation of the arc on the contacts or during its displacement towards the cut-off chamber which is a key parameter of the system operation. The originality of this research project concerns the study of the displacement and switching of the arc, the use of industrially realistic materials and the impact of successive cut-offs on the performance of the system. This study will therefore consist of continuing to develop the experimental facilities needed to quantify the phenomena and to validate the various models that will be built around these points.

In terms of modelling, the points of interest are the following:

- Treatment by the model of the current limitation
- Acceleration/optimisation of calculation times
- Consideration of the rotational movement of the moving contact
- Ablation of materials (plastic, metal)

In terms of experiments

- Effect of rail oxidation and erosion after several cuts
- Effect of plastic ablation (organic vapour) on arc behaviour.
- Effect of contact materials on switching (depending on the speed of the moving contact etc.)
- Pre-chamber size (speed of arc movement in splitters)
- Influence of the splitter material (for the magnetic side (e.g. iron and copper))
- Influence of the size of the exhausts

Progress of the thesis

1/ Bibliographic study on the modelling of low voltage circuit breakers and understanding of routines developed by AEPPT team.

2/ Improvement of existing AEPPT tool in particular by taking into account the coupling with the network: currently, a current wave is imposed as input to the model, but it is not modified by the increase in voltage when the arc arrives in the chamber. This point will be implemented.

3/ Experimental works :

As far as is possible, all theoretical developments will be based on confrontations with experimental results. The latter will be based on parametric studies and will consist of electrical measurements and visualization by fast camera on a synchronized acquisition chain. The following will be studied more specifically:



- Influence of the speed of the opening contact on the arc motion
- The influence of the nature of the rails (more or less oxidised).
- The influence of the dimensions of the upstream and downstream volumes in the chamber.

4/ Modelling work: The modelling work during this last stage will focus on taking into account geometries close to the real ones with rotating parts (Contact).

Profiles, skills and knowledge required

- Engineer or Master in Fluid Mechanics, energetics and thermics, plasmas and processes.
- Competence in numerical fluid mechanics and multi-physics processes..
- Skills in experimental techniques (rapid imaging, electrical measurements)
- Curiosity, physical and technical skills, scientific and editorial rigour, ability to analyse and synthesise, autonomy in finding solutions to complex problems.
- Ready for computer development in a scientific computing environment. Initial training and previous experience (internship) appreciated in the implementation of CFD finite volume tools with the objective of developing/validating methods/models.
- Prior knowledge of plasma physics will be a plus.

Management, modalities and applications

Equipe projet	
 www.laplace.univ-tlse.fr	 www.hager.fr
<p>Jean – Jacques Gonzalez gonzalez@laplace.univ-tlse.fr</p> <p>Directeur de recherche CNRS, équipe Arc Electrique et Procédés Plasmas Thermiques (AEPPT).</p> <p>Pierre Freton Pierre.freton@laplace.univ-tlse.fr</p> <p>Professeur des Universités, resp. équipe Arc Electrique et Procédés Plasmas Thermiques (AEPPT)</p> <p>www.linkedin.com/in/pierre-freton-92472072 □</p>	<p>Denis Deckert : Head of the design office</p> <p>Patrice Joyeux : Dr. Engineer - Competence Centre Electrical Engineering</p>

- 3-year fixed-term contract, CNRS doctoral student status - Amount 2135€ before tax
- Target start date autumn 2022 - early start possible
- Location Toulouse (LAPLACE) 80% /Obernai (Hager) 20%.

Apply in CNRS website or directly to one of the supervisors by e-mail with CV and covering letter.

Bibliography on the subject

[Lu-1] J. Lu, « Caractérisation du comportement du plasma dans un disjoncteur basse tension par le développement d'un outil numérique et d'expériences associées. » Thèse soutenue le 19 novembre 2020, Université Toulouse 3, Paul Sabatier.

[Lu-2] J. Lu, J.J. Gonzalez, P. Freton Pierre, P. Joyeux, G. Déplaudé « Experimental Studies of Arc Motion Between Two Parallel Runners with Splitter Plates ». June 2020 Plasma Physics and Technology

[Lu-3] J. Lu, J.J. Gonzalez, P. Freton Pierre, P. Joyeux, G. Déplaudé, « Experimental and simulation studies on the voltage drop of arc in low voltage circuit breaker » November 2019, Plasma Physics and Technology 6(3) DOI: 10.14311/ppt.2019.3.256

[Que-1] J. Quéménéur, « Etude des forces à l'origine du déplacement d'un arc électrique dans un disjoncteur basse-tension », Thèse soutenue le 14 avril 2016, Université Toulouse 3, Paul Sabatier.

[Que-2] J. Quéméneur, P. Freton, M. Masquere, J.J. Gonzalez, P. Joyeux, « Cathode Arc Root Movement: Models Comparison », Plasma physics and Technology journal vol 2, ISSN: 2336-2626 (2015)

[Que-3] J. Quéméneur, P. Freton, J.J. Gonzalez, M Masquère, P Joyeux, « Electrical arc movement and commutation modelling in the Low-Voltage Circuit Breaker », HTPP Munich 2016

[Que-4] J. Quéméneur, M. Masquère, P Freton, J.J. Gonzalez, P Joyeux, « Experimental investigations on arc movement and commutation in the Low-Voltage Circuit Breaker », HTPP Munich 2016

[Que-5] J. Quéméneur, J. Lu, P. Freton, J.J. Gonzalez, « Arc motion in low voltage circuit breaker (LVCB) experimental and theoretical approaches », Scientific& Academic Publishing, 2018. hal-02324102

[Que-6] J. Quemeneur, P. Freton, M. Masquere, J.J. Gonzalez, P. Joyeux, « Cathode Arc Root movement in low voltage circuit breaker: Models Comparison », FSO XXI République Tchèque 2015.