



Implantation de solutions pour réduire les éclairs d'arcs dans les installations de fabrication industrielles

David B. Durocher
Membre sénior, IEEE
Directeur global industriel
Eaton
26850 SW Kinsman Road
Wilsonville, OR 97070 USA
davidbdurocher@eaton.com

Résumé

Ce document présente une série d'études de cas et explique comment s'est effectué l'identification, la mesure et la réduction des risques d'éclairs d'arcs dans diverses installations industrielles. Parmi les études de cas, mentionnons : le calcul des risques d'éclairs d'arcs dans une cimenterie à établissements multiples en conformité avec le Guide IEEE® 1584-2002 et les normes locales de sécurité en milieu de travail; la mise en œuvre d'un système de maintenance pour réduire les éclairs d'arcs (Arcflash Reduction Maintenance System™) dans la section avec sas d'un poste de sectionnement principal lors de la mise à niveau d'une usine de traitement des minerais; une enquête portant sur un accident impliquant un éclair d'arc survenu dans une installation de traitement de produits chimiques; et la modernisation (La conception, fondement de la sécurité) de la division de minerai de fer d'une entreprise minière de niveau mondial. Le document examine les programmes et les processus révisés et considérés, la stratégie mise de l'avant pour gérer/réduire les risques d'éclairs d'arcs et les leçons apprises lors de l'implantation de nouveaux systèmes pour améliorer la sécurité en milieu électrique de travail.

Introduction

Au cours des dernières années, les installations de fabrication industrielles du monde entier ont appris à reconnaître l'importance d'identifier, de comprendre, de mesurer et de réduire l'impact des éclairs d'arcs dans leurs installations. Bien que peu fréquentes, les blessures signalées ont entraîné des coûts énormes, se classant parmi les catégories de blessures en milieu travail les plus importantes. Dans l'une des entreprises de distribution électrique des États-Unis, les blessures causées par l'électricité comptent pour moins de 2 % de tous les accidents, mais totalisent de 28 % à 52 % des coûts imputables aux blessures. Bien que les coûts directs actuels des incidents reliés aux éclairs d'arcs soient modérés, ils augmentent de façon significative avec le temps. L'amalgame des coûts directs à long terme avec les coûts indirects très élevés totalisent jusqu'à plus de 12 millions par cas aux États-Unis. La raison : un éclair d'arcs est en fait une explosion impliquant du cuivre en fusion et des températures extrêmes. Les brûlures sévères et les blessures corporelles irréparables qui s'ensuivent entraînent des frais médicaux et légaux très substantiels. Les dangers sont si grands lorsque des personnes se trouvent à proximité de matériel sous tension, que bien peu de raisons justifient les travaux dans de telles circonstances.

Tout en tenant compte des normes de sécurité électrique en milieu travail, il importe de reconnaître que les documents faisant actuellement consensus reposent sur leur pays d'origine. Cela s'explique, en partie, du fait que les normes de chaque pays traitant des ensembles électriques sont élaborées et éprouvées en vue de leur application nationale. Par exemple, aux États-Unis, la National Fire Protection Association® NFPA 70 National Electrical Code®^[1] est la norme qui régit l'installation de matériel électrique. L'article 110.16 de cette norme nommée « Protection contre les éclairs d'arcs » se réfère à la norme de sécurité électrique en milieu travail NFPA 70E-2012^[2]. La plupart des industries américaines sont assujetties à l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Les normes de l'OSHA comprennent une phraséologie qui s'appuie sur la NFPA 70E-2012, de sorte que la conformité à cette norme faisant consensus est de rigueur. Au Canada, ce sont les normes de l'Association canadienne de normalisation (CSA®) Z462 qui s'appliquent dans toutes les provinces.

Cette norme canadienne de sécurité en milieu travail s'harmonise avec la U.S. NFPA 70E-2012. À la fois la NFPA 70E-2012 et la CSA Z462-12 requièrent la mise en place de pratiques de sécurité à l'intention du personnel travaillant sur ou à proximité de matériel électrique sous tension. Elles déterminent les circonstances dans lesquelles les



Powering Business Worldwide

travail- leurs doivent porter un équipement de protection individuelle (EPI) spéci- fique pour se protéger des dangers inhérents aux arcs électriques. Une norme mondiale traite des arcs électriques soit la IEEE 1584-2002 : Guide d'exécution de calculs sur les dangers liés aux éclairs d'arcs (Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculations^[4]). Cette norme présente les méthodes de calcul pour évaluer l'énergie lors d'un éclair d'arcs (l'énergie thermique définie en cal/cm²) et les limites de ce dernier. Étant consi- dérée comme une norme mondiale, plusieurs entreprises de fabrication industrielles ayant de multiples établissements dans divers pays utilisent la IEEE 1584-2002. Celle-ci établit un processus pour quantifier l'exposi- tion à l'énergie thermique en tout point d'un système électrique indus- triel, ce qui permet de définir l'EPI à porter lors de travaux sous tension.

Toutefois, la norme ne définit pas les mesures de sécurité en milieu travail comme le cadenassage/l'étiquetage du matériel et les permis pour travaux sous tension qui sont normalement abordées dans les normes de sécurité en milieu travail. Comme déjà mentionné, en raison des risques significatifs pour les travailleurs dans l'exécution de travaux sous tension, l'auteur recommande de couper l'alimentation plutôt que de provoquer un éclair d'arc. Cela dit, certains industriels, oeuvrant principalement dans les industries de traitement, choisissent de procéder au dépannage et aux essais bien que le matériel soit sous tension. Ce document relate les études de cas de diverses installations industrielles créatrices de programmes de sécurité en milieu travail en vue de se conformer aux normes de sécurité en matière d'éclairs d'arcs. Dans chaque cas, l'employeur de l'auteur a travaillé en étroite collaboration avec le client industriel en restant directement informé du cheminement du projet.

ÉTUDE DE CAS 1

Cimenterie avec établissements multiples

La première étude de cas concerne une cimenterie à établissements multiples exploitant 13 usines aux États-Unis et au Canada. Cette étude de cas fait l'objet d'un document technique^[5] récent qui raconte les aspects du projet d'implantation de pratiques dans toute l'entreprise en conformité avec les normes locales sur les éclairs d'arcs. La cimenterie d'envergure mondiale est l'une des plus importantes de l'industrie cimen- taire. Toutefois, ce projet de conformité visait seulement les installations nord-américaines. Dans le cadre de ce projet, la norme IEEE 1584-2002 a servi de référence dans le calcul de l'énergie thermique, la norme NFPA 70E-2012 quant à la sécurité électrique en milieu travail et finalement la norme CSA Z462-12 sur la sécurité électrique en milieu travail pour les installations américaines et canadiennes.

Au début du projet d'implantation, la cimenterie a confié les études d'ingénierie in situ à un fournisseur mondial de services d'ingénierie. Une grande expérience dans l'industrie cimentaire et une équipe aguerrie de plus de 100 ingénieurs électriciens oeuvrant au siège social de l'entre- prise et dans les filiales, tant aux États-Unis qu'au Canada, sont les deux principaux facteurs qui ont conduit à la rétention de ce fournisseur. On a recueilli les données à chaque établissement puis établi un plan précis des systèmes électriques existants en vue d'effectuer les analyses sur les dangers liés aux éclairs d'arcs. L'ensemble des données est alors transmis à un groupe centralisé d'ingénieurs électriciens chargés de mettre à jour les études sur les courts-circuits et de coordination, puis de produire un rapport sur les éclairs d'arcs pour chaque établissement. Le schéma unifilaire existant de l'usine a servi de point de départ à la collecte des données, de même que les informations sur la longueur des conducteurs et les réglages des dispositifs de protection pour établir la véracité de la documentation trouvée sur place. On a sollicité le distribu- teur d'électricité desservant chaque usine afin qu'il fournisse l'information sur le réseau incluant les courants de fuite à la terre minimaux et maxi- maux susceptibles de se produire au branchement de chaque installation. Bien que des techniciens du service à la clientèle soient disponibles dans les environs des 13 établissements, l'équipe de projets de la cimenterie a décidé de déléguer des ingénieurs électriciens pour effectuer le travail sur place et la collecte des données. Leur expérience en études de réseaux constituait une garantie que les données nécessaires aux études en cours allaient être récupérées dès la première visite, éliminant ainsi la nécessité de visites subséquentes. Le groupe centralisé en ingénierie des réseaux électriques sous la direction d'un ingénieur de projets a été déployé pour venir appuyer les efforts consacrés aux études de réseaux à la suite de la collecte de données. Constitué intentionnellement pour inclure seulement quelques personnes du même établissement au sein du groupe afin d'assurer une constance méthodologique quant à l'étude et aux rapports provenant des 13 établissements de l'usine.

Une fois l'analyse des dangers liés aux arcs électriques terminée, les données de calcul sur l'énergie des éclairs d'arcs a permis d'établir l'EPI à porter pour toute personne travaillant sur ou à proximité des panneaux électriques sous tension dans chaque établissement. Normalement, le bâtiment principal d'une sous-station de 480 V et certains réseaux moyenne tension requièrent un niveau d'EPI plus élevé. Parce que les éclairs d'arcs se limitent généralement aux réseaux où la tension aux barres omnibus excède 240 V, le modèle de réseau n'allait prendre en compte que ceux où la tension aux barres était de 480 V et plus.

Les résultats de l'étude comprenaient une étiquette Danger - Éclairs d'arcs et chocs électriques (Arc Flash & Shock Hazard) apposée sur tous les panneaux comme l'illustre la **Figure 1**. À noter que l'étiquette

quantifie le danger en calories par centimètre carré (cal/cm²) à une distance de travail de 46 cm (18 po). L'étiquette établit aussi la distance de protection contre les arcs électriques à 53 cm (21 po). Cette valeur correspond à la distance à laquelle le « personnel qualifié » revêtu de l'EPI approprié peut travailler de façon sécuritaire quand le panneau est sous tension. L'EPI requis pour les travaux sous tension dans un panneau doit être de plus de 1,55 cal/cm².

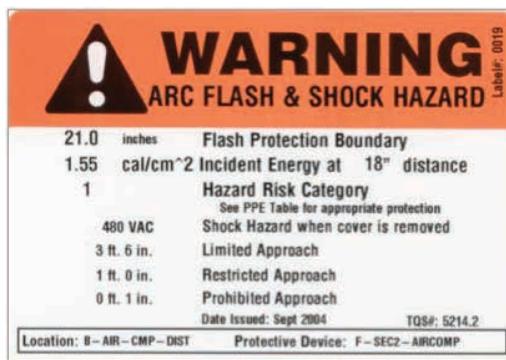


Figure 1

Étiquette indiquant l'éclair d'arcs en cal/cm², les risques de choc électrique, la distance de protection contre les arcs électriques et l'EPI.

Une fois toutes les études sur les éclairs d'arcs terminées, chaque établissement a reçu un rapport détaillé identifiant les dangers de nature électrique associés à tous les panneaux du réseau. La **Figure 2** montre les résultats obtenus dans l'une des études de l'usine sous forme de tableau. À noter que la première barre identifiée 416MCC-50/51-51G est un centre de commande de moteurs de 4,16 kV et l'énergie incidente calculée est de 4,1 cal/cm². Cela fait partie de la catégorie de danger HRC n° 2. La deuxième barre identifiée FDR #3 SQD PNL est un centre de commande de moteurs de 600 V et l'énergie incidente calculée est de 75,8 cal/cm². Ce panneau s'est vu attribué une catégorie de risque de DANGER en l'absence dans le commerce d'EPI homologué à une valeur aussi élevée. En règle générale, la nature encombrante de l'EPI aux niveaux plus élevés implique des risques additionnels (incluant la

perte de dextérité et l'épuisement causé par la chaleur). Par conséquent, le seul autre choix qui s'offrait dans le cas de ce panneau était la mise hors tension du réseau avant d'y effectuer des travaux ou de trouver une façon de réduire le niveau d'énergie incidente. Une fois terminé le projet de conformité aux éclairs d'arcs et l'affichage d'étiquettes identifiant

les risques d'éclairs d'arcs sur chaque panneau, on a ciblé les secteurs des établissements où s'étaient produits de nombreux incidents, tout particulièrement ceux où on avait effectué des travaux sous tension. Les secteurs à risques élevés d'éclairs d'arcs ont collaboré avec le fournisseur mondial de services pour identifier les technologies pouvant réduire les risques à des niveaux moins élevés. L'objectif était d'abaisser à des niveaux plus raisonnables, près de 8 cal/cm², les expositions à 40 cal/cm² en utilisant de l'EPI selon la **Figure 3**.

Device name	Bus kV	Bus bolted fault kA	Device bolted fault kA	Arcing fault kA	Trip time (s)	Breaker opening (s)	AF boundary	Working distance (inches)	Incident energy (cal/cm ²)	HRC
416MCC-50/51-51G	4.16	28.82	24.03	22.9	0.083	129	129	36	4.1	#2
FDR #3 SQD PNL	0.60	25.83	25.83	17.73	1.917	0.083	402	24	75.8	DANGER
FDR #4 BULK SILO	0.58	8.53	8.53	6.55	0.028	0	12	18	0.6	#0
FDR #2 PHM CC	0.58	13.01	11.1	8.2	0.025	0	40	18	4.5	#0
FDR LCS#4 4A	0.60	35.21	31.78	22.62	0.05	0	40	18	4.5	#2
RLY U9_750	4.16	24.47	22.49	21.49	0.1	0.133	217	36	6.9	#2
FDR LCS#2 2D	0.60	20.74	19.43	14.42	0.1	0	43	18	5.1	#2
FU PUMPS1/2	0.60	6.32	6.32	4.38	0.076	0	16	18	1.0	#0
FDR LCS#4 1B	0.60	11.48	10.67	8.3	0.05	0	20	18	1.5	#1
COMP SUB MN	0.58	22.06	16.24	10.79	0.5	0	116	24	12.2	#3
RELAY COMP 50/51	0.58	22.06	16.24	10.79	1.917	0.083	287	24	46.3	DANGER
FU DIST PANEL	0.60	29.88	29.88	21.54	0.004	0	8	18	0.3	#0

Figure 2

Le tableau suivant illustre les résultats de l'étude sur les risques d'éclair d'arcs, identifie chaque barre et l'énergie incidente correspondante calculée à partir des formules de la norme IEEE 1584-2002.

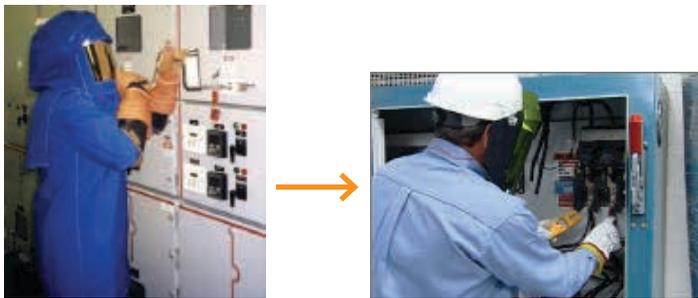


Figure 3

Une fois terminée l'étude sur les éclairs d'arcs, les établissements ont analysé les résultats et identifié les secteurs où il était possible de réduire l'énergie incidente afin que les travailleurs puissent porter un EPI moins encombrant (40 cal/cm² à gauche) par rapport à 8 cal/cm² à droite.

Tout en considérant les méthodes de réduction de l'énergie incidente des éclairs d'arcs en des points spécifiques du réseau électrique, il importe de reconnaître que l'intensité de la chaleur au niveau de la peau du travailleur dépend principalement de ce qui suit :

1. La puissance de l'arc et sa localisation.
2. La distance entre le travailleur et l'arc.
3. La durée d'exposition à l'arc.

Les modifications qui influencent la réduction des risques d'éclairs d'arcs apportées au réseau permettent, dans certains cas, l'exécution de travaux sous tension en utilisant un niveau inférieur d'EPI. À titre d'exemple, certains postes électriques du réseau existant disposaient d'un sectionneur primaire à fusibles en charge extérieure, d'un transformateur de poste à couplage direct et de barres omnibus raccordées à l'appareillage de connexion basse tension intérieur ou à des centres de commande de moteur (consulter la **Figure 4**). Les normes d'installation locales permettent cette configuration lorsque la barre secondaire est à moins de 10 m. La barre secondaire, selon l'illustration de cette configuration de poste, n'est pas protégée — le dispositif de protection en amont est le fusible primaire! On estime que l'énergie produite par l'éclair d'arc au niveau de la barre basse tension équivaut à plus de 600 cal/cm². L'addition d'un relais de surintensité 50/51 est l'une des solutions proposées pour réduire l'énergie des éclairs d'arcs, incluant des transformateurs de courant à la barre secondaire, au niveau du collet de raccordement secondaire du transformateur de poste. Ce dispositif additionnel protège la barre secondaire en détectant la faute advenant un éclair d'arc au niveau de l'appareillage de connexion basse tension de 480 V. En pareil cas, le relais complémentaire capte la surintensité et provoque le déclenchement du disjoncteur à vide moyenne tension en amont. Grâce à cette proposition de modernisation, les travailleurs effectuant des essais ou le dépannage au niveau de l'appareillage de connexion basse tension, ou l'embrochage/débrochage d'un disjoncteur de puissance basse tension de la barre principale seraient exposés à un niveau d'énergie thermique beaucoup moindre lors d'un éclair d'arc. L'addition d'un relais de protection en cas de surintensité comprenant un interrupteur⁽⁶⁾ d'interruption à sélection de zone et/ou de maintenance opérationnel lors de l'embrochage ou du débrochage de disjoncteurs de puissance à la barre principale réduirait davantage les risques et l'EPI nécessaire.

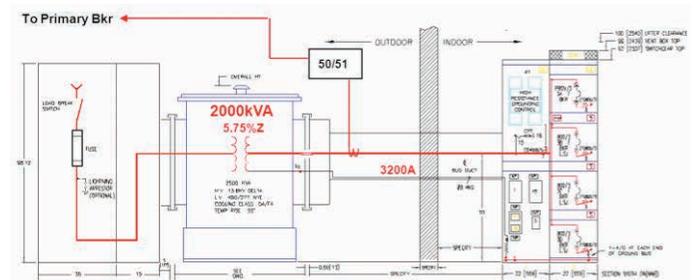


Figure 4

Poste basse tension typique comprenant un interrupteur/fusible et un transformateur à l'huile moyenne tension extérieures ainsi qu'une barre raccordée au matériel basse tension intérieur. L'addition de transformateurs de courant et d'un relais de surintensité pour déclencher le disjoncteur en amont réduisent les risques d'éclairs d'arcs au niveau du secondaire.

Un point important de l'Étude de cas 1, c'est la mise en œuvre du projet de conformité relatif au risque d'éclairs d'arcs dans toutes les installations existantes. Dans ce cas, l'appareillage de connexion et les centres de commande de moteurs plus âgés sont exploités depuis probablement 10 à 40 ans. Bien que certains des nouveaux ensembles de distribution électrique incluent des fonctionnalités modernes de résistance aux arcs ou d'essai interne sur les arcs, le remplacement des infrastructures existantes ne s'avérerait pas pratique. Presque toutes les modernisations du réseau proposées pour réduire les risques d'éclair d'arcs impliquaient des mises à niveau. Le producteur était confronté au défi de trouver une façon d'améliorer la sécurité dans les milieux électriques de travail en s'appuyant sur la modification ou la modernisation du matériel électrique existant.

Leçons apprises

En règle générale, l'implantation du programme de conformité aux éclairs d'arcs dans cette cimenterie à établissements multiples a remporté un énorme succès. Les détails de ce projet sont inclus dans le document technique⁽⁵⁾ et ne sont pas abordés aux présentes. Globalement, cette réussite s'explique comme suit :

- La volonté à tous les niveaux de la direction de l'entreprise et des établissements à vouloir créer et mettre en œuvre un document sur les éclairs d'arcs près de deux ans avant l'exécution du projet.
- L'exécution du projet seulement après que la portée du document ait été bien définie et mise en circulation.
- L'établissement d'objectifs précis dans les établissements ainsi que les échéanciers et les coûts du fournisseur de services mondial.
- La sélection d'un fournisseur de services approprié pouvant être sur place au besoin afin de satisfaire l'échéancier du projet.
- Le jumelage avec un fournisseur ayant les capacités en services d'ingénierie et en technologies des produits disponibles pour réduire les risques d'éclairs d'arcs dans les endroits critiques.
- L'uniformisation des échelles à travers l'entreprise et l'application de normes en matière de collecte de données, d'études, de rapports, d'étiquetage et de formations sur place en sécurité des points de vue qualité et constance.

Implantation de mesures contre les éclairs d'arcs dans une usine de broyage du basalte

La deuxième étude de cas traite de l'implantation de mesures de sécurité contre les éclairs d'arcs dans le cadre d'un projet d'immobilisations et d'ajout d'une salle électrique dans une usine de broyage du basalte à New South Wales. L'usine actuelle nécessitait une solution clés en main incluant la fourniture et l'installation de matériel de broyage et de criblage du basalte pour porter la capacité de production à 220 tonnes par heure. La portée des travaux comprenait la conception, l'ingénierie, la fourniture, l'installation, la mise en service de tableaux de distribution et de centres de commande de moteurs basse tension ainsi qu'une nouvelle salle électrique et un système de commande des processus. Des équipements majeurs faisaient partie du projet : un transformateur de 2 MVA, une salle électrique, un CCM, des panneaux de commande destinés aux nouveaux broyeurs et cribles, des dispositifs d'alimentation, des convoyeurs, des gerbeurs à flèche mobile et radiaux, des capteurs de poussière, de l'éclairage et des dispositifs d'automatisation de l'usine. Le propriétaire de la carrière ne disposait pas de personnel électrique permanent sur place et, souvent, la maintenance et le dépannage étaient effectués par des entrepreneurs qui n'étaient pas familiers avec les broyeurs des mines. En raison de cela, l'équipe de conception a porté une attention particulière aux principaux secteurs de danger à l'intérieur de la salle électrique, en ciblant les activités comme la commutation et l'isolement des dispositifs électriques, l'élimination des surcharges, la localisation des fuites et les essais. Voici quelles étaient les activités spécifiques susceptibles de provoquer des éclairs d'arcs à l'intérieur de la nouvelle salle électrique :

1. Le débrogage/l'embrogage des disjoncteurs aux barres omnibus sous tension.
2. Le retrait ou l'installation de disjoncteurs dans une cellule sous tension.
3. Les travaux sur des circuits de commande avec pièces sous tension.
4. Les essais basse tension, la détection de fuite et le dépannage.
5. Le retrait de panneaux pour y effectuer des inspections visuelles ou thermiques.
6. Les essais sur l'absence de courant avant le verrouillage.

Dans sa démarche, l'équipe de conception a tenu compte de l'agencement du réseau et de la hiérarchie en contrôle des risques conformément à la **Figure 5**. Le concept reposait sur l'utilisation de l'EPI en tout dernier lieu en privilégiant des solutions plus efficaces orientées vers l'élimination des risques.



Figure 5
Hiérarchie en contrôle des risques.

Le tableau de distribution basse tension principal choisi pour ce projet était homologué contre les arcs internes ayant subi des essais de type IEC61439-1 (et IEC 61641 critères 1 à 7). Le tableau de distribution principal se conformait également à AS3439.1. Les fonctionnalités de confinement des défauts d'arc comprenaient une soupape d'extinction des arcs qui dirigeait les gaz et la chaleur loin du personnel, une ségrégation Form 3b/4a, des joints internes et des écrans d'isolement des arcs. Collectivement, le système créait une zone exempte d'arcs grâce aux murs de séparation assurant un isolement réel conforme à la conception orientée vers la sécurité du personnel.

En plus de la conception anti-arc, une nouvelle technologie incluait un Système de maintenance pour réduire les arcs électriques (ARMS) servant de composant à l'unité de déclenchement interne des disjoncteurs principaux à coupure dans l'air. Comme c'est le cas pour tout déclencheur de disjoncteurs basse tension à coupure dans l'air, la courbe de protection permettait le réglage des temporisations longue, courte, instantanée et de fuite à la terre, éléments indispensables à la coordination sélective. Le système ARMS offrait un deuxième réglage de protection, un circuit analogique intégré distinct. Lorsqu'il est activé en mode de maintenance, l'ARMS a priorité sur les réglages de protection standard et passe à une valeur de déclenchement reposant sur

un réglage de courant instantané prédéfini, un multiple du module de calibrage du déclencheur. Le temps total d'élimination des défauts est l'avantage significatif, ce qui réduit les risques d'éclairs d'arcs.

La **Figure 6** illustre le déclencheur intégré au disjoncteur à coupure dans l'air et l'ARMS ou le réglage de maintenance. Des possibilités de validation et d'indication locales et à distance sont aussi offertes, ce qui permet d'envisager des procédures de verrouillage/étiquetage à partir de l'extérieur de la zone de production des éclairs d'arcs.



Figure 6
Le disjoncteur à coupure dans l'air intègre un déclencheur avec ARMS (Système de maintenance pour réduire les arcs électriques).

Une partie des travaux d'ingénierie comportait la préparation d'une étude sur les courts-circuits, la coordination et les éclairs d'arc. Elle reposait sur les calculs définis dans la norme IEEE 1584^[4] déjà mentionnée qui ont permis de mener à terme cette étude sur les éclairs d'arcs. On a découvert que l'énergie incidente des éclairs d'arcs était de plus de 36 cal/cm² au niveau disjoncteur principal d'entrée mais également pour de nombreuses sections d'artère du tableau de distribution principal. La présence d'un ARMS dans le disjoncteur principal d'entrée a permis de réduire l'énergie incidente à moins de 4 cal/cm². La **Figure 7** montre l'exposition thermique de calcul du tableau de distribution principal alors que le réglage du déclencheur du disjoncteur principal est en mode normal avec une coordination sélective (a) et aussi la tenue du disjoncteur principal en mode ARMS (b). Les processus d'exploitation ont été établis afin que le personnel de maintenance puisse régler le déclencheur du disjoncteur principal en mode de maintenance lorsque du personnel exécutait des travaux sur ou à proximité du tableau de distribution sous tension.

Une note importante tirée des schémas de la **Figure 7** montre que le niveau d'énergie thermique de calcul associé aux éclairs d'arcs des panneaux incorporant des démarreurs progressifs alimentant les gros moteurs basse tension des énormes broyeurs était peu élevé, de l'ordre de moins de 1 cal/cm². Cela s'explique par la présence de démarreurs progressifs incluant des fusibles limiteurs de courant à action rapide pour protéger les semi-conducteurs de puissance à l'intérieur de ces ensembles. Bien que ces fusibles n'aient pas été inclus spécifiquement dans la conception pour pallier aux risques d'éclairs d'arcs, le résultat positif a été bien accueilli.

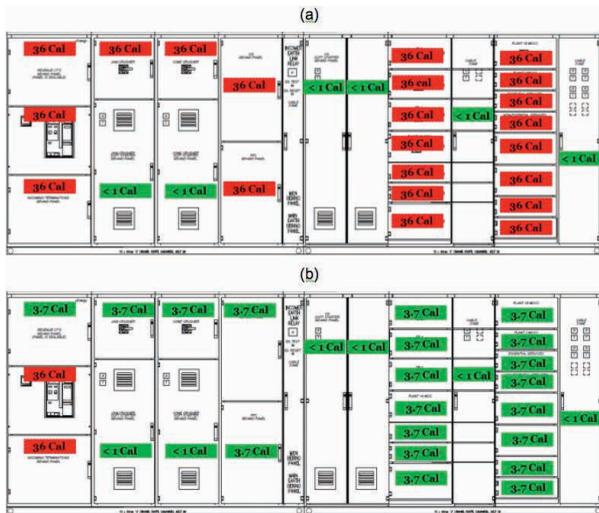


Figure 7

Selon le panneau, exposition thermique lorsque le disjoncteur principal du tableau de distribution est en mode normal (a) et exposition lorsqu'il est en mode ARMS (b).

Pour un niveau de sécurité additionnel, le poste de sectionnement comprenait un sas indiqué à la **Figure 8**. Le sas est physiquement isolé à l'extérieur du poste de sectionnement principal où se trouve le tableau de distribution. Un interrupteur d'activation ARMS et un témoin lumineux à distance du mode de maintenance sont dans le sas. De plus, des capteurs de mouvements installés à l'intérieur du poste de sectionnement principal sont aussi jumelés au mode de maintenance.

Il s'agit d'une mesure de sauvegarde d'appoint dans l'éventualité où les opérateurs n'actionneraient pas l'interrupteur ARMS par mégarde ou encore s'il se trouvait des personnes non qualifiées à l'intérieur de ces lieux. L'indication du mode ARMS est aussi reliée au système SCADA afin que les opérateurs de l'usine soient au courant du réglage.



Figure 8

Le poste de sectionnement principal comprend une section avec sas où se trouvent l'interrupteur ARMS et la lampe témoin de validation. Cette fonctionnalité est activée avant l'accès des personnes de la maintenance au tableau de distribution principal.

ÉTUDE DE CAS 3

Incident d'éclair d'arc au niveau d'un commutateur de maintenance

La troisième étude de cas abordée dans ce document implique une installation de traitement chimique disposant d'une étude terminée et d'un solide processus de sécurité électrique en milieu de travail. L'installation a connu un événement d'éclair d'arc alors qu'on effectuait des travaux sous tension. Tout comme l'Étude de cas 1, cet événement est également documenté sous forme d'un rapport technique qui a été présenté récemment dans le cadre d'un atelier de travail portant sur la sécurité électrique^[7] en milieu travail.

Une usine de traitement de produits chimiques des États-Unis planifiait des travaux sous tension sur un appareillage de connexion basse tension de 480 V à l'intérieur de ses installations. On avait accordé un permis de travail sous tension pendant le processus de modernisation des installations pour le retrait de trois conducteurs de charge périmés dans le compartiment de câbles d'un ensemble de connexion basse tension de 480 V. Le permis de travail détaillé comprenait les outils prévus dans l'exécution du projet ainsi que l'EPI que les travailleurs devaient revêtir sur la base de l'énergie incidente définie lors d'une étude récente sur les

Pour plus de sûreté, les charges de moteur directes en ligne (DOL) ont des relais de protection électronique contre les surcharges thermiques. Ces dispositifs supportent les communications par réseau afin que les opérateurs puissent réarmer les moteurs après un déclenchement en surcharge. Cela a été rendu possible grâce au système SCADA. Les déclenchements magnétiques exigent toujours que l'électricien identifie et réenclenche manuellement les appareils suite à ce type de défaut. La **Figure 9** montre l'écran de réenclenchement lors d'une surcharge thermique accessible par l'intermédiaire de l'interface homme-machine (HMI) de SCADA de même que le panneau d'accès à distance dans la section du sas du poste de sectionnement.



Figure 9

Le système SCADA permet de réenclencher les charges de moteurs DOL afin que les opérateurs puissent réarmer à distance les appareils à la suite de surcharges thermiques (image de gauche). Les commandes de disjoncteurs et l'activation ARMS se trouvent sur le panneau monté dans le sas adjacent au poste de sectionnement.

Leçons apprises

Cette étude de cas est un excellent exemple d'une planification soignée lors de la conception du projet industriel Greenfield et de réduction de façon significative à l'exposition aux éclairs d'arcs des opérateurs. Voici quelles sont les principales leçons tirées de cette expérience :

- L'utilisation de la hiérarchie en contrôle des risques (**Figure 5**) au tout début de la conception s'avère un outil très utile pour défier les concepteurs de systèmes afin que la sécurité ne repose plus sur une approche de protection mais de prévention, ce qui est le meilleur choix.
- Dans les établissements industriels plus petits, on fait souvent appel à des entrepreneurs extérieurs pour les travaux de maintenance et de dépannage des systèmes électriques plutôt qu'à des employés qualifiés et dûment formés. Dans de telles situations, on devrait privilégier le niveau de sécurité.
- La compréhension et la mise en œuvre des toutes dernières technologies s'avèrent nécessaires tant pour les systèmes de distribution électrique que pour les systèmes de commande. Tenir le personnel éloigné du matériel sous tension par les commutations et le réenclenchement des appareils à distance suite à un défaut représente la meilleure pratique en termes de conception de systèmes électriques sécuritaires.

risques d'éclairs d'arcs. Les tâches définies sur le bordereau de travail mentionnaient à l'entrepreneur en chantier l'utilisation d'un câble en nylon, ce qui était courant pour ce type de projet, le débranchement des câbles hors tension et leur extraction par le haut du compartiment de câbles. La **Figure 10** montre la disposition de l'ensemble basse tension visé par l'intervention. Le retrait des câbles hors tension du cubicule 5 s'effectuerait alors que des conducteurs étaient maintenus sous tension à la base du caniveau du cubicule 4. On ne parvenait pas à fixer solidement le câble de nylon aux conducteurs et celui-ci glissait sur ces derniers. L'entrepreneur électricien décida alors d'employer un "palan manuel à levier" pour faciliter le retrait, celui-ci pouvant exercer une plus grande force. On réussit à dégager le premier conducteur avec l'outil. Lors du retrait du deuxième conducteur, on a observé un petit éclair d'arc dans le compartiment inférieur. Simultanément, les lumières de l'usine se sont éteintes. L'entrepreneur interrompit le travail, attendant l'arrivée des électriciens de l'usine, ne sachant pas trop ce qui venait de se produire.

Cet événement entraîna l'arrêt de toute l'usine. Les travaux en cours ont

dû être interrompus jusqu'à ce qu'une analyse soit faite de la situation. Il a été établi que la chaîne du palan avait glissé jusqu'en bas où l'on exécutait les travaux et dans le cubicule 4 sous tension. Heureusement, les dommages causés à la paroi de l'appareillage de connexion et au palan étaient minimaux, comme l'illustre la **Figure 11**. La chaîne était entrée en contact avec une borne sous tension. Il s'ensuivit un arc à la terre, au contact des conducteurs des deux phases et de l'armoire métallique mise à la terre sous le cubicule hors tension où s'affairait l'électricien. Après examen des dommages minimaux et la fin des travaux exécutés hors tension, l'appareillage de connexion a été nettoyé et remis sous tension. Heureusement, l'usine a subi un temps d'arrêt minimal. Aucune perte matérielle ni blessures au personnel n'ont résulté de cet événement.

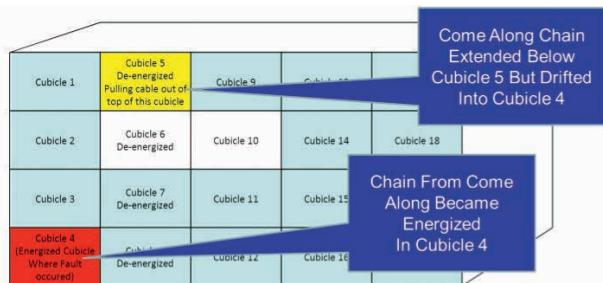


Figure 10
Ensemble basse tension impliqué dans la planification des travaux sous tension. Les travaux planifiés prévoyaient le retrait de câbles du cubicule 5 hors tension pendant que le cubicule 4 adjacents demeurait sous tension.

Ce qui importe de noter ici, c'est que l'étude sur les éclairs d'arcs était terminée avant même l'exécution des travaux sous tension. Le disjoncteur de puissance basse tension en amont, avec le réglage spécial dont nous avons déjà parlé au niveau de l'interrupteur de maintenance, bénéficiait d'une technologie d'élimination des défauts plus rapide que le réglage instantané à microprocesseur du déclencheur du disjoncteur.

Les calculs antérieurs établis- saient la réduction de l'énergie incidente de 17,7 cal/cm² à 2,9 cal/cm² grâce au réglage de maintenance spécial. Le temps d'élimination du défaut de 40 millisecondes a permis de sauver le personnel et le matériel, tel que défini par les courbes^[8] de déclenchement publiées par le fabricant.



Figure 11
À gauche, le palan manuel à levier utilisé pour les travaux sous tension, et à droite, les dommages causés au panneau après l'éclair d'arc phase-terre en présence d'un dispositif en amont ayant des fonctionnalités de maintenance réglables.

Leçons apprises

Cette étude de cas prouve sans équivoque que la planification d'un événement imprévisible peut sauver des vies. Voici certaines des leçons clés apprises :

- Des erreurs peuvent se produire même lorsque le projet est bien planifié. Un changement d'outil a été à l'origine de cet éclair d'arc.
- Une planification appropriée et la synergie de toutes les ressources disponibles ont permis d'éviter une situation catastrophique.
- La mise à niveau de la technologie peut souvent conduire à une réduction de l'énergie disponible. L'utilisation de réglages fins peut contribuer à sauver le personnel et le matériel dans l'éventualité d'un éclair d'arc.

ÉTUDE DE CAS 4

Modernisation d'une usine de bouletage de minerai de fer en Australie occidentale — la conception fondement de la sécurité

La quatrième et dernière étude de cas décrit la mise en œuvre d'un programme de modernisation d'un centre de commande de moteurs (CCM) amorcé par un producteur de minerai de fer mondial exploitant de nombreuses usines en Australie occidentale. Comme de nombreux CCM arrivaient à leur fin vie utile, la direction de l'ingénierie responsable de l'amélioration de la sécurité électrique en milieu travail a mis au point un programme de modernisation systématique. De nombreuses normes de sécurité incluant IEC61439-1^[9], IEC 61641 critères 1 à 7^[10] et même AS3439.1^[11] n'existaient pas lors de la mise en service du matériel original. Par conséquent, le programme de remplacement/modernisation incluait le rétablissement d'ensembles existants par de nouvelles technologies reposant sur la plate-forme «La conception, fondement de la sécurité». La revalorisation des CCM était élaborée en conformité avec les normes les plus récentes de confinement des arcs électriques. Ces nouveaux ensembles comprenaient aussi un dispositif unique d'étouffement des arcs conçu pour protéger à la fois le personnel et le matériel.

De nombreux fournisseurs de relais de protection ont récemment mis en marché des relais de surintensité intégrant la détection de la lumière émise par les éclairs d'arcs. Le concept repose sur la détection des éclairs d'arcs qui s'effectue plus rapidement à partir de capteurs de lumière, généralement associée au taux d'élévation de courant (di/dt). Bien que cela soit exact, de nombreux fabricants oublient de mentionner que le temps total d'élimination du défaut est le paramètre de mesure déterminant à considérer dans le calcul de l'énergie thermique d'un éclair d'arcs. Bien sûr, le temps total d'élimination du défaut est l'addition du temps de détection et du temps d'interruption du dispositif de protection contre les surintensités. Les systèmes de détection de la lumière ont des temps de réponse très rapides de l'ordre de 1 à 2 millisecondes. Malheureusement, la plupart des disjoncteurs réagissent à la commande de fermeture externe provenant d'un déclencheur shunt et fonctionnent plus lentement que les commandes

initiées par l'actuateur interne du déclencheur. Ainsi, « l'amélioration de la performance » est souvent compromise en raison de la latence du déclencheur shunt externe. À l'appui de cette assertion, il faut noter que de nombreux ingénieurs en réseaux électriques qui étudient les éclairs d'arcs ne verront aucun avantage aux relais détecteurs de lumière. Dans la pratique, il n'existe aucun moyen de déterminer raisonnablement tout changement au niveau du temps total d'élimination des défauts au moyen de la détection de la lumière, peu importe le système.

Cela dit, le producteur mondial de minerai de fer a opté pour le déploiement de systèmes de pointe intégrant la détection lumineuse et la fonctionnalité d'un dispositif d'étouffement d'arc. Ce dispositif capte la lumière et le courant puis excite un déclencheur shunt qui signale effectivement une faute boulonnée triphasée. L'intention derrière cette approche consiste à établir un parcours de courant par l'intermédiaire d'une impédance plus faible que le chemin parcouru par le courant d'arc. Après la détection de l'arc, le dispositif shunt réduit effectivement la tension à zéro de sorte que l'énergie de l'arc ne puisse être soutenue. Une fois que le dispositif d'attache amorce une faute boulonnée, le prochain dispositif de protection en surintensité en amont est sollicité pour éliminer le défaut. La **Figure 12** illustre le dispositif d'étouffement de l'arc, situé typiquement au niveau des barres principales du CCM basse tension. Après que la lumière et le courant aient déclenché le dispositif, le boulon disposé dans le guide avec isolation de phase pénètre dans l'isolation, créant un court-circuit métallique avec un temps d'élimination du défaut de moins de 2 ms.

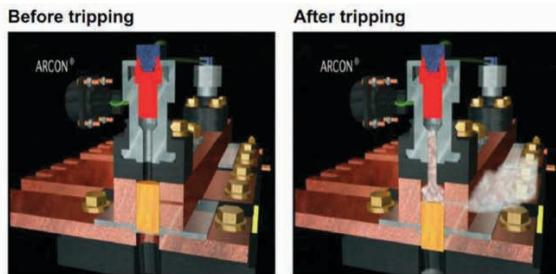


Figure 12

Le dispositif d'éteignement d'arc unique (ci-dessus) comprend un boulon disposé dans un guide avec isolation de phase avant son déclenchement (inférieur gauche). Après la détection de la lumière et de la surintensité, le boulon pénètre l'isolation créant un court-circuit métallique avec un temps d'élimination du défaut de moins de 2 ms (inférieur droit).

Comme déjà mentionné, ce CCM basse tension est un ensemble classifié à arc interne, éprouvé selon IEC61439-1 et IEC 61641 critères 1 à 7 et AS3439.1. La **Figure 13** illustre les résultats d'un essai d'arc selon la norme IEC. À noter les dommages causés au conducteur d'amorçage suite à l'essai d'arc au niveau de la barre primaire. Cette image montre que les conséquences d'un éclair d'arcs est en somme nul. L'utilisation de cette technologie d'éteignement d'arc constitue un moyen efficace de réduire les risques liés aux éclairs d'arcs et de protéger le personnel et le matériel.

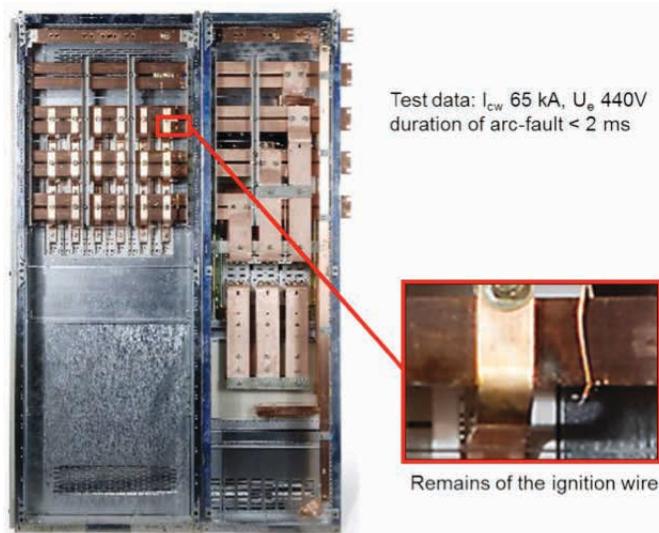


Figure 13

Les essais classifiés d'arcs internes tels que définis par IEC 61641 critères 1 à 7 nécessitent que le conducteur d'amorçage se trouve à différents endroits pour provoquer un arc. Dans l'image ci-dessus, l'essai sur la barre principale en présence d'un dispositif d'éteignement d'arc produit peu sinon aucun dommage.

La technologie du dispositif d'éteignement d'arc intégré au CCM basse tension de remplacement fonctionne à très haute vitesse, un facteur-clé quant à la durée totale de l'arc de 2 ms. Comme il en a été question dans les sections précédentes, de nombreux systèmes de détection de la lumière sont jumelés au dispositif de protection en surintensité qui élimine le défaut avant l'extinction de l'arc. L'avantage d'utiliser un dispositif d'éteignement d'arc, c'est la chute de tension à zéro qui provoque l'extinction immédiate de l'arc. Le dispositif de protection en amont est alors sollicité pour éliminer le défaut, ce qui se produira typiquement

dans la plage de réponses instantanées du disjoncteur ou du fusible limiteur de courant. L'ingénieur en systèmes électriques devrait tenir compte du temps d'élimination du défaut et recourir à des dispositifs de protection/réglages afin d'éliminer le défaut le plus rapidement possible. Dans certains cas, un arc du côté ligne d'un disjoncteur principal d'entrée pourrait générer des courants de défaut très élevés alimentés à partir d'un transformateur de puissance, ce qui pourrait entraîner un stress mécanique au niveau des bobines de celui-ci. Dans cette situation, la conception devrait tenir compte des transformateurs de courant secondaires et de la protection par relais des bornes secondaires du transformateur. Lorsque le système comprend des réglages à temporisations courtes destinés aux disjoncteurs à coupure dans l'air en vue d'assurer une coordination sélective, l'addition d'un interverrouillage⁶¹ sélectif de zone devrait être envisagée. Cela garantirait le temps d'interruption le plus rapide et l'élimination du défaut dans l'éventualité de l'entrée en action du dispositif d'éteignement d'arc. Le dispositif d'éteignement d'arc est un composant mécanique à usage unique facilement remplaçable après son intervention. Parce que les éclairs d'arcs sont rares, le producteur de minerai de fer planifie conserver un dispositif d'éteignement d'arc en réserve dans chaque établissement à l'appui des nombreux CCM basse tension en place.

La **Figure 14** illustre un des nouveaux CCM basse tension sur la chaîne de montage de l'usine avant les essais en présence de témoins. À noter que le panneau à gauche comprend un wattmètre à l'entrée pour enregistrer l'énergie utilisée. Le panneau du centre inclut un module de commande principal où sont connectés les capteurs de lumière. En cas d'éclairs d'arcs, les capteurs envoient un signal de déclenchement au dispositif d'éteignement d'arc raccordé à la barre principale du côté charge du disjoncteur principal d'entrée. Le contrôleur principal capte aussi les informations concernant le capteur qui a enregistré l'éclair afin de pouvoir localiser rapidement son origine une fois le défaut éliminé. À noter que ce CCM basse tension dépend strictement de disjoncteurs à coupure dans l'air et sur deux disjoncteurs d'alimentation pour protéger le matériel en aval. Dans ce cas, l'inclusion d'un interrupteur de maintenance pour assurer le temps d'élimination du défaut le plus rapide lorsque le personnel travaille sur le matériel en amont représente également la meilleure façon de réduire les risques potentiels d'éclairs d'arcs.



Figure 14

Remplacement d'un tableau de distribution de 415 V intégrant la détection lumineuse et un dispositif d'éteignement d'arcs. Le module de commande principal contrôle en entier le système et l'affichage MMI.

Leçons apprises

Contrairement à certaines des études de cas précédentes, le propriétaire des lieux possède un avantage distinct de conception et d'installation de nouveaux ensembles électriques. Cela a permis de faire appel à des ensembles électriques éprouvés et à des technologies pour réduire les possibilités d'éclairs d'arcs. Voici certaines des leçons clés apprises :

- Le dispositif d'éteignement d'arc représente le moyen le plus rapide d'extinction des éclairs d'arcs. Mais un plan doit être soigneusement élaboré pour tenir compte des défauts triphasés susceptibles d'être déclenchés par le dispositif.

- La façon la plus efficace de réduire les risques d'éclairs d'arcs est la mise en œuvre de technologies de pointe conçues pour faire face à ces situations. Bien que cela ne soit pas toujours pratique pour les installations d'un certain âge, il importe d'aller de l'avant dans le cas de nouveaux matériels.
- Pour tous les ensembles basse et moyenne tensions IEC et ANSI/NEMA, les nouvelles conceptions contre les arcs répertoriées/ testées devraient être considérées, tout particulièrement dans les établissements Greenfield.
- S'assurer que seul le personnel qualifié a accès aux endroits où des éclairs d'arcs risquent de se produire constitue la meilleure pratique tant dans les installations nouvelles et existantes.

Conclusions

Ce document passe en revue une variété d'études de cas relatives aux risques d'éclairs d'arcs. L'intention derrière cette revue de problèmes et de solutions était de provoquer les propriétaires et les ingénieurs concepteurs de systèmes qui prennent la décision d'amorcer une étude sur les éclairs d'arcs dans les installations industrielles existantes ou nouvelles. Très certainement, la compréhension de ce risque réel et la volonté de changement des paradigmes de sécurité en milieu travail liée aux éclairs d'arcs est une priorité. Comprendre les étapes appropriées de modélisation des systèmes électriques et de mise à niveau favorisant des processus reproductibles constitue un facteur clé de tout programme fructueux. Les nouvelles technologies, dont seulement quelques-unes ont été abordées aux présentes, se sont avérées efficaces dans la réduction des éclairs d'arcs à la fois dans les établissements existants et de Greenfield. Les nouvelles constructions offrent une opportunité unique de concevoir des systèmes électriques basés sur l'approche « La planification, fondement de la sécurité ». Cela devrait être pris en compte pour tout nouveau projet parce que les coûts pour remédier aux déficiences de système après le fait sont beaucoup plus élevés.

Références

- [1] NFPA70 National Electrical Code, 2012 Edition
- [2] NFPA 70E: Standard for Electrical Safety in the Workplace. 2012 Edition
- [3] Canadian Standards Association CSA Z462: Workplace Electrical Safety, 2012 Edition
- [4] IEEE Standard 1584: Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculations. 2002 Edition
- [5] G.M. Kemper, W.S Vilcheck, D.B. Durocher "The Journey of an Enterprise in a Process Industry Toward Improved Electrical Workplace Safety"; Conference Record IEEE IAS/PCA Cement Conference, April 2013
- [6] C.G. Walker, "Arc Flash Energy Reduction Techniques Zone Selective Interlocking & Energy-Reducing Maintenance Switching"; Conference Record, 2011 IEEE IAS PPIC, Pgs 42-54.
- [7] T. Domitrovich, K. White, "Implementation of an Arc Flash Reduction Maintenance Switch – A Case Study"; Conference Record, IEEE Electrical Safety Workshop, ESW2012-08, 2012
- [8] Arc Flash Reduction Maintenance Settings, Eaton total clearing time trip curve [http://www.eaton.com/ecm/idcplg?IdcService=-GET_E&allowInterrupt=1&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&Rendition=Primary&dDocName=70C1498](http://www.eaton.com/ecm/idcplg?IdcService=-GET_E&allo wInterrupt=1&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&Rendition=Primary&dDocName=70C1498)
- [9] IEC61439-1, Low voltage switchgear and controlgear assemblies, 2009
- [10] IEC61641, Enclosed low voltage switchgear and controlgear assemblies - Guide for testing under conditions of arcing due to internal fault, 2008
- [11] AS/NZS 3439.1 Low voltage switchgear and controlgear assemblies, Type-tested and partially type-tested assemblies, 2002

Pour plus de renseignements
EatonCanada.ca/PowerDefense
 ou communiquez avec votre bureau local des
 ventes Eaton.

Eaton
 1000 Eaton Boulevard
 Cleveland, OH 44122
 États-Unis
 Eaton.com

© 2019 Eaton
 Tous droits réservés
 Imprimé au Canada
 Publication n°. WP083015FC
 Juillet 2019

Secteur électrique
 Exploitation canadienne
 5050 Mainway
 Burlington, ON L7L 5Z1
 Canada
 EatonCanada.ca

Eaton est une marque de commerce déposée.

Toutes les autres marques de commerce sont la propriété de leur détenteur respectif.

Suivez-nous sur les réseaux sociaux pour de l'information sur les plus récents produits et le soutien technique.



Powering Business Worldwide