



Science.
Au service de la Vie.^{MC}

Étude comparative des connecteurs de câbles : le cisaillement continu c. la compression par sertissage

George Fofeldea
Ingénieur électricien, 3M Canada

mars 2021

Résumé

Ce document de recherche vise à déterminer la solution de connexion de câbles qui offre la plus grande fiabilité. Pour répondre à cette question, nous avons comparé les technologies à cisaillement continu et à compression par sertissage, en utilisant des essais de cycle de courant. Nos résultats ont montré que, bien que les technologies à compression par sertissage largement adoptées présentent de nombreux avantages, les technologies à cisaillement continu offrent une meilleure installation et un rendement supérieur à long terme, ce qui permet d'obtenir des connexions plus fiables. Les résultats de cette étude peuvent être utilisés afin d'améliorer la fiabilité et le rendement pour les services d'utilité publique.



Table des matières

Introduction	4
Matériaux et méthodes	5
Discussion	5
Partie 1	5
<i>Avantages du système de matrice hexagonale CSA</i>	6
<i>Inconvénients du système de matrice hexagonale CSA</i>	7-8
<i>Figures</i>	8-9
<i>Résumé de la partie 1</i>	10
Partie 2	11
<i>La technologie à cisaillement par étapes présente certains inconvénients technologiques inhérents</i>	11
<i>Comment fonctionne la technologie à boulons de cisaillement continu</i>	12
<i>Avantages associés à la conception de la technologie à boulons de cisaillement continu</i>	12-14
<i>Résumé de la partie 2</i>	14
Partie 3	12
<i>Tableau de comparaison : la technologie à boulons de cisaillement c. la compression par sertissage</i>	15-19
Résultats	20
Conclusion	20
Bibliographie	20
Avis important	20



Introduction

Le cisaillement continu ou la compression par sertissage : quelle est la technologie la plus fiable pour les connexions de câbles?

Cette étude a pour but de trouver la réponse à cette question en se penchant sur les concepts scientifiques qui se cachent derrière les technologies à cisaillement continu et à compression par sertissage. Notre recherche sera présentée dans trois sections différentes du présent document :

Questions de la partie 1 :

Sommes-nous certains de bien comprendre le système de matrice hexagonale CSA et ses avantages, ou cette technologie est en fait plus complexe qu'il n'y paraît?

Quelle pratique exemplaire les services d'utilité publique doivent-ils suivre pour déterminer si le système de matrice hexagonale CSA est avantageux pour un usage donné, et quelle est la meilleure façon de mettre en œuvre un système de matrice hexagonale CSA?

Questions de la partie 2 :

Quels sont les avantages associés à l'utilisation de la technologie à boulons de cisaillement continu?

Existe-t-il un autre type de technologie à connecteurs qui pourrait être utilisé pour éliminer les inconvénients connus de la technologie à compression par sertissage?

Partie 3 :

Résumer toute l'information sous forme d'un tableau de comparaison.

Matériaux et méthodes

La fiabilité de la connexion des câbles a été déterminée par l'examen des technologies à cisaillement continu et à compression par sertissage.

Évaluation : un examen basé sur des essais de cycle de courant et une évaluation de la conception technologique.



Discussion

En examinant les technologies à cisaillement continu et à compression par sertissage, le présent document vise à déterminer la solution qui offre la plus grande fiabilité pour les connexions de câbles.

Partie 1 :

Sommes-nous certains de bien comprendre le système de matrice hexagonale CSA et ses avantages, ou cette technologie est en fait plus complexe qu'il n'y paraît? Quelle pratique exemplaire les services d'utilité publique doivent-ils suivre pour déterminer si le système de matrice hexagonale CSA est avantageux pour un usage donné, et quelle est la meilleure façon de mettre en œuvre un système de matrice hexagonale CSA?

La plupart des services d'utilité publique au Canada ont adopté et utilisent le système de matrice hexagonale CSA pour le sertissage des connecteurs et des cosses. L'autre système largement utilisé est le système de matrice Burndy. Dans le système de matrice Burndy, l'indice de matrice corrélé au numéro de matrice est exclusif. En d'autres termes, les connecteurs conçus par Burndy ne peuvent être utilisés qu'avec une matrice Burndy et ne peuvent être sertis qu'avec un outil Burndy. Du point de vue du service d'utilité publique ou de l'utilisateur final, ce n'est peut-être pas la situation idéale, étant donné qu'une seule entreprise contrôle la matrice, la conception du connecteur/de la cosse et les outils d'installation.

Par rapport au système de matrice Burndy, le système de matrice hexagonale CSA est un système « ouvert », ce qui signifie que la section transversale de la matrice est publiée sous la norme C57 de la CSA : « Connecteurs d'alimentation pour une utilisation avec les conducteurs de lignes aériennes ». Par conséquent, un fabricant de connecteurs peut concevoir un connecteur qui fonctionne avec les surfaces transversales du système de matrice hexagonale CSA publié dans la norme de la CSA. Autrement dit, le service d'utilité publique peut choisir parmi de nombreux fabricants.

Avantages du système de matrice hexagonale CSA :

- ✓ Réduit les coûts de stockage des matrices et la confusion liée au numéro de pièce de la matrice avec ses numéros de matrice alphanumériques (CSA 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38).
- ✓ Simplifie l'utilisation, car les indices de matrice et l'harmonisation du numéro de pièce de la matrice avec l'indice de la matrice ne sont plus nécessaires.
- ✓ Permet d'utiliser des matrices et des connecteurs/cosses provenant de plusieurs fabricants et fournisseurs, réduisant ainsi les coûts pour les services d'utilité publique tout en encourageant une saine concurrence.
- ✓ Facilite la normalisation, car le système ne comprend qu'une seule matrice, contrairement aux autres systèmes utilisant plusieurs matrices incompatibles. (Il n'est pas nécessaire de passer directement d'une matrice Burndy à une matrice hexagonale CSA ou à d'autres matrices).
- ✓ Donne au service d'utilité publique la possibilité de mettre en œuvre des mesures de contrôle de la qualité supérieures utilisant des jauges « GO-NO-GO » pour vérifier l'uniformité du sertissage et la fermeture des matrices en mesurant la dimension entre les surfaces planes. (voir la figure 4 à la page 8)
- ✓ Améliore la sécurité et la fiabilité en offrant la possibilité de vérifier le numéro de la matrice qui a été utilisée pour une cosse ou un connecteur donné déjà installé en relevant le numéro de matrice imprimé, au lieu de consigner les indices de matrice et de consulter des tableaux pour faire correspondre les indices aux numéros de matrice.
- ✓ Au total, il faut moins de matrices CSA. Il n'y a que 10 matrices en aluminium (Al) et 10 matrices en cuivre (Cu).



Conseil technique

Les matrices CSA pour connecteurs et cosses en cuivre utilisent la même désignation numérique, suivie de « CU ». Par exemple, si vous voyez « CSA26CU », vous saurez qu'il s'agit d'une matrice plus étroite que celle portant la mention « AL » avec le même numéro pour un outil de compression d'une force donnée.

Pour le moment, nous avons passé en revue les avantages associés à un système de matrice hexagonale CSA. Même si nous savons que la tendance générale du marché évolue vers l'adoption de matrices hexagonales CSA pour les services d'utilité publique, il est important de se poser la question suivante : est-ce que quelque chose peut mal tourner?

Examinons de plus près ce qui pourrait mal tourner et les mesures que les services d'utilité publique devraient prendre pour aider à atténuer certains problèmes qui pourraient survenir lors de la mise en œuvre d'un système de matrice hexagonale CSA.

Inconvénients du système de matrice hexagonale CSA :

- ⊗ La seule information publique disponible sur les systèmes à matrice hexagonale CSA est la surface transversale des matrices indiquée dans la norme 57-2016 de la CSA. Puisque le « savoir-faire » en matière de fabrication de matrices et la conception des matrices sont la propriété du fabricant, **il est donc difficile d'obtenir des informations utiles pour aider les services d'utilité publique à améliorer le contrôle de la qualité.**
- ⊗ **De légères modifications dimensionnelles** de la surface de la matrice dues à des irrégularités de fabrication ou au dépassement des tolérances de fabrication **peuvent entraîner des sertissages incomplets.** Cet aspect est préoccupant, car des « sertissages incomplets » signifient que la matrice n'est pas complètement fermée. Si une matrice n'est pas fermée lors du sertissage, il n'y a aucune garantie que vous aurez atteint le taux de compactage théorique calculé qui prend en compte l'aire de la surface transversale de la matrice, l'aire du conducteur et l'aire du connecteur.



Calcul du taux de compactage théorique :

$$\text{Taux de compactage} = 1 - \frac{\text{aire de la matrice}}{\text{aire du conducteur} + \text{aire du connecteur}}$$

- ⊗ **Impossible de vérifier si les dimensions d'une matrice (c'est-à-dire : la surface de contact, les rayons, la surface transversale, etc.) sont conformes aux spécifications ou non.** Le service d'utilité publique peut se procurer la même matrice CSA auprès de deux fabricants différents et se retrouver avec deux matrices pour un seul outil de la même force. Par exemple, disons que nous avons deux matrices 12 T A et B qui ont des largeurs différentes et qui semblent avoir des surfaces différentes qu'on ne peut facilement mesurer et confirmer l'exactitude (**voir figure 3 à la page 8**). Si tel est le cas, comment décider si la matrice A ou B se fermera correctement pour le connecteur avec lequel elle est utilisée? La seule façon de le confirmer est de mener des essais de qualification. C'est un obstacle important à surmonter si vous avez de nombreux connecteurs de dimensions légèrement différentes provenant de plusieurs fabricants utilisant des matrices provenant également de différents fabricants.
- ⊗ Pour les systèmes à matrice hexagonale CSA, la seule information publiée est la surface transversale de la matrice, mais les outils de forces différentes utilisent des matrices CSA de différentes largeurs. Par exemple, une matrice CSA24 sera plus étroite qu'une matrice CSA 24 pour un outil 60 T. Cela peut créer une certaine confusion en ce qui concerne la sélection des matrices, surtout si le service d'utilité publique utilise une grande variété de câbles et de conducteurs aériens et souterrains de différentes tailles, des petits aux grands conducteurs en Al et en Cu, et que des outils de forces différentes sont nécessaires.



Conseil technique

Pour cette raison, il serait utile d'estampiller la force MINIMALE sur le connecteur ou la cosse, et sur le dessin des outils qui peuvent être utilisés pour sertir un connecteur ou une cosse. L'estampillage de la force minimale des outils est également très utile pour les applications de distribution des services d'utilité publique qui, la plupart du temps, ne nécessitent que des outils jusqu'à 12 T. Les applications de transmission nécessitent généralement des outils de sertissage entre 60 et 150, ou même 200 T.

- ⊗ Pour que le sertissage soit adéquat sur le terrain, le fabricant de connecteurs ou de cosses **doit établir une corrélation précise entre la largeur de la matrice CSA et la force de l'outil**, la dureté du matériau (en particulier pour les connecteurs en Cu), les tolérances de fabrication du connecteur, etc.



Qu'entend-on par « sertissage correct sur le terrain »? Cela signifie que la matrice est complètement fermée à l'aide d'un outil de compression d'une force donnée.

- ⊗ Pour un outil de compression d'une force donnée, les systèmes de matrices CSA doivent s'adapter à une variété de différents outils de sertissage provenant de différents fabricants. Une fois de plus, la conception du système à matrice hexagonale CSA étant exclusive, il n'est pas rare qu'une matrice CSA d'un fabricant tienne mieux dans un outil de compression que dans la matrice d'un autre fabricant. Cela peut se produire si l'une des dimensions de la matrice est réglée à la tolérance maximale et si l'outil de sertissage est réglé à la tolérance minimale (voir les figures 1 et 2 à la page 7). **Pour éviter que de tels problèmes se produisent, il convient de mettre en place une procédure d'approbation approfondie pour les services d'utilité publique (qui comprend des essais de prototypage et d'installation) comprenant la validation des fabricants de matrices, des fabricants de connecteurs et de cosses, et des fournisseurs et concepteurs d'outils de sertissage.**
- ⊗ Les matrices s'usent. Par exemple, les matrices peuvent être renvoyées aux fabricants pour qu'ils les mesurent avec précision et indiquent au service d'utilité publique si la matrice est toujours conforme aux spécifications ou si elle doit être remplacée. **Pour cela, le service d'utilité publique doit avoir mis en place un programme de contrôle et envoyer régulièrement des matrices pour inspection.**
- ⊗ Les dimensions des matrices CSA énumérées dans la norme C57-2016 de la CSA ne comprennent que la section transversale de la matrice jusqu'à la taille CSA 38. **Pour les conducteurs de plus grande taille, aucune taille de matrice n'est publiée – cette information essentielle n'est pas disponible.** Dans certains cas, les services d'utilité publique ont développé leurs propres matrices plus grandes pour des applications précises.
- ⊗ Si un installateur utilise une matrice CSA destinée aux applications AL, par opposition à la matrice appropriée pour les connecteurs CU (c.-à-d. : CSA 28 comparativement à CSA 28CU), **cela pourrait entraîner un sertissage incomplet** parce que les matrices CU sont plus étroites que les matrices AL.



N'oubliez pas : Pour un outil de la même force, il faut une matrice CU plus étroite pour le sertissage d'un métal plus dur comme le cuivre, et une matrice plus large pour les connecteurs et conducteurs en Al plus mous.

Remarque : certains inconvénients ci-dessus s'appliquent également aux matrices autres que CSA

Figures



◀ **Figure 1 :**

La flèche verte indique la partie d'une matrice W de 6 T qui s'ajuste très difficilement dans la tête de l'outil de compression, tandis que la matrice sur le côté droit de l'image s'ajuste bien et est facile à insérer et à retirer de la tête de l'outil de compression. Après une enquête plus approfondie, il a été déterminé que le processus de traitement thermique augmente légèrement les dimensions de la matrice et, par conséquent, le fabricant a procédé à certains ajustements dimensionnels de la matrice pour éviter qu'elle ne reste coincée dans la mâchoire de l'outil de sertissage. Ces problèmes peuvent être détectés et corrigés en procédant à des essais d'installation avec des outils et des matrices de sertissage de différents fabricants.

Figures



Figure 2 :

Montre un outil de sertissage MD 6 avec une matrice W CSA 22 : lorsque la matrice W est installée, la matrice BG ne se ferme pas, de sorte que l'installateur doit retirer la matrice W CSA 22 de l'outil s'il a l'intention de sertir avec la matrice BG.



Figure 3 :

Illustre les matrices CSA 30CU de deux fabricants différents. La matrice de gauche est plus étroite que la conception de la matrice de droite. La matrice CSA 30CU à gauche a également des courbures usinées plus grandes qui réduisent l'aire totale de la matrice par rapport à la conception de matrice plus large à droite, laquelle a une aire plus grande.



Figure 4 :

Montre quatre outils de sertissage. Les deux sertissages à droite ont été réalisés à l'aide de la matrice CSA30CU plus large du fabricant « A ». Un autre sertissage a été réalisé avec une matrice CSA30CU du fabricant « C » qui est légèrement plus étroite comparativement à la largeur de la matrice du fabricant « A ». Le quatrième sertissage a été réalisé par une matrice CSA30CU du fabricant « B », qui est plus étroite que les matrices des fabricants « A » et « C ». Pour les trois sertissages (deux avec des matrices du fabricant « A », un avec le fabricant « C »), le GNG-08 (jauge « GO-NO-GO ») utilisé pour vérifier les sertissages **ne s'ajuste pas bien**, ce qui indique que la matrice ne s'est pas complètement fermée. Le GNG-08 mesure la distance entre les surfaces planes d'un sertissage. Le seul sertissage où la matrice GNG-08 s'ajuste bien est celui réalisé avec la matrice CSA30CU du fabricant « B », **laquelle parvient à mieux comprimer le connecteur et permet à la matrice de se fermer complètement, ce qui permet d'obtenir le taux de compression calculé**. Cela met également en évidence **l'importance d'utiliser les jauges GNG** pour vérifier les sertissages une fois qu'ils ont été réalisés. Sans jauge GNG, les quatre sertissages illustrés semblent satisfaisants en se basant uniquement sur une inspection visuelle. En outre, cela souligne l'importance des essais cycliques de chauffage pour évaluer la conformité aux normes et évaluer le rendement du produit. Peut-être que certains connecteurs installés avec les matrices provenant des trois fabricants « A », « B » et « C » réussiront la séquence d'essai, alors que d'autres échoueront. Il est impossible d'arriver à la bonne conclusion sans procéder à des essais.

Partie 1 : Résumé

Le système à matrice hexagonale CSA offre plusieurs avantages et bénéfices par rapport au système de matrice Burndy, comme nous l'avons vu. Malgré ces avantages, ce n'est pas un système infaillible et les services d'utilité publique n'ont toujours pas le contrôle complet d'un tel système en termes de qualité ou d'installation adéquate sur le terrain, puisque les dimensions des matrices CSA sont la propriété du fabricant de matrices, ce qui empêche donc les services d'utilité publique de vérifier entièrement les dimensions des matrices avant de les utiliser sur le terrain. La moindre variation des tolérances de fabrication d'un fabricant d'outils de sertissage à l'autre, et d'un fabricant de matrices à l'autre, ainsi que les petites différences dimensionnelles, ou les variations de dureté du matériau des connecteurs ou des cosses, peuvent faire une différence déterminante entre une installation réussie ou non.

On ne peut s'empêcher de se demander combien il y a de sertissages sur le terrain comme ceux mentionnés à la **page 8** où la jauge GNG est trop petite, et l'impact à long terme d'une telle connexion?

Si un service d'utilité publique doit complètement changer son système de matrices Burndy pour un système de matrices CSA, il doit gérer soigneusement ce changement et élaborer des normes concernant les outils de sertissage approuvés, les fabricants de matrices CSA agréés et les fabricants de connecteurs et de cosses compatibles avec les matrices CSA qu'elle a l'intention d'utiliser. Sur la base de l'expérience que j'ai acquise au fil des ans en travaillant avec un certain nombre de services d'utilité publique canadiens, on ne saurait trop insister sur l'importance d'installer plusieurs prototypes lors de la qualification et de s'assurer que toutes les matrices approuvées provenant de différents fabricants fonctionnent avec les outils de sertissage approuvés provenant de plusieurs fabricants ainsi qu'avec les différents modèles de connecteurs et de cosses proviennent de différentes sources d'approvisionnement.

Comme on peut le voir, il n'y a pas de formule magique qui permettrait aux services d'utilité publique de passer d'un système de matrices Burndy à un système à matrice hexagonale CSA rapidement et sans heurts. Il y aura des obstacles. Certaines conditions doivent être remplies pour que cette mise en œuvre ait lieu et il est important de disposer d'un plan de transition détaillé.

Partie 2 :

Quels sont les avantages associés à l'utilisation de la technologie à boulons de cisaillement continu? Existe-t-il un autre type de technologie à connecteurs qui pourrait être utilisé pour éliminer les inconvénients connus de la technologie à compression par sertissage?

Examinons les avantages de la technologie à boulons de cisaillement continu.

Comme discuté dans la partie 1 du présent document, lorsqu'il s'agit de mettre en œuvre un système de matrice de sertissage (p. ex. un système à matrice hexagonale CSA), il existe certaines limites technologiques liées à l'installation (sertissage avec des matrices et des outils de compression), à la difficulté de mettre en œuvre un système de contrôle de la qualité efficace et à l'évaluation du rendement à long terme qui se traduisent finalement par des coûts d'exploitation du système plus élevés à long terme.

Il existe de nombreuses études et rapports qui décrivent et quantifient les coûts associés aux défaillances des connexions électriques dans les réseaux de distribution et de transmission dans différents pays. Les connexions électriques serties ont une longue histoire de défaillances, et cette tendance est encore accélérée par les nouvelles conceptions de câbles (p. ex. nouveaux types de brins plus compacts) qui sont difficiles à adapter avec les conceptions existantes des connecteurs utilisant la technologie de sertissage limitée^{[1], [2]}.

Heureusement, la technologie de connexion électrique a évolué et d'autres technologies ont vu le jour. Les technologies à boulons de cisaillement ont été introduites en Europe il y a plus de 20 ans. Cette nouvelle tendance est de mieux en mieux acceptée en raison des nombreux avantages qu'elle offre et de l'amélioration du rendement par rapport aux technologies de type sertissage^{[3], [4]}.

En ce qui concerne les connecteurs utilisant la technologie à boulons de cisaillement, deux types de conceptions sont actuellement offertes sur le marché :

1. **Cisaillement par étapes (également appelé cisaillement multiétapes ou à rainure)**
2. **Cisaillement continu**

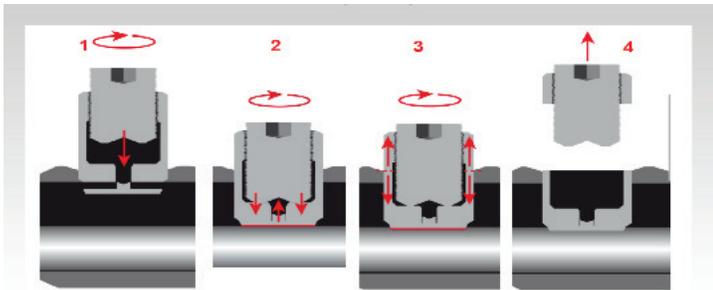
La technologie à cisaillement par étapes présente certains inconvénients technologiques inhérents :

- ⊗ Nécessite des couples différents à chaque étape.
- ⊗ Difficile de s'adapter et de mettre à l'essai plusieurs brins et configurations de conducteurs avec seulement un nombre limité d'étapes de cisaillement (généralement 5 au maximum).
- ⊗ Seule une partie du couple est convertie en force de contact utile, le reste est perdu en friction entre la tête du boulon et le conducteur.
- ⊗ La variation de la force de friction avec le matériau du conducteur, la dureté et la surface qui conduit à la variation de la force de contact dépendent du type de matériau du conducteur. Cela augmente le risque de ne pas avoir une force de contact suffisamment élevée sur les conducteurs AL (puisque la friction est plus élevée), mais une force plus élevée sur les conducteurs CU (puisque la friction est plus faible), etc.
- ⊗ Dans certains modèles, les plus petits conducteurs sont soumis à la force la plus élevée et les plus grands conducteurs à la force la plus faible, alors que ce devrait être l'inverse.
- ⊗ Certains modèles peuvent nécessiter des outils spéciaux pour l'installation.
- ⊗ Les boulons peuvent se cisailer au-dessus de la surface extérieure et, par conséquent, les arêtes vives et les saillies doivent être éliminées.

La technologie à boulons de cisaillement continu élimine tous les inconvénients énumérés. Mais avant d'explorer les avantages de conception de cette technologie, examinons d'abord son fonctionnement.

Comment fonctionne la technologie à boulons de cisaillement continu :

- 1 Une clé hexagonale standard est utilisée pour enfoncer l'insertion en acier dans le boulon de cisaillement continu en laiton.
- 2 Lorsque le serrage se poursuit, la plaque d'appui (le disque de friction) au bas du boulon se détache et le boulon tourne sur la plaque protégeant ainsi le conducteur.
- 3 Lorsque le couple de cisaillement est atteint, le boulon de cisaillement est étiré axialement et se rompt (l'insertion en acier dont la partie supérieure du boulon en laiton a été retirée).
- 4 Le boulon est conçu pour se casser uniformément et sous le corps du connecteur.



Pleins feux sur la technologie :

Les Connecteurs et les Cosses à boulons de cisaillement mécanique 3M^{MC} permettent une installation facile sans outils de sertissage ni matrices. Ils couvrent une large gamme de tailles et peuvent être utilisés avec des conducteurs en cuivre ou en aluminium. Ils sont également conçus pour se cisailer juste en dessous de la surface externe du corps du connecteur, éliminer ainsi le besoin de limer, et peuvent être inclus dans nos Trousses de terminaisons et d'épissures rétractables à froid 3M^{MC}.



Regardez-moi installer une Trousse d'épissures moyenne tension rétractable au froid QS-III 3M^{MC} avec un Connecteur à boulons de cisaillement mécanique 3M^{MC}.



Regardez-moi installer une Terminaison à collerette en caoutchouc à la silicone rétractable au froid QT-III 3M^{MC} avec une Cosse mécanique 3M^{MC}.

Avantages associés à la conception de la technologie à boulons de cisaillement continu :

- ✓ **Principes fondamentaux du contact électrique : force contre résistance et points de contact « a » :** Un bon exemple pour mieux comprendre la technologie de type contacts est d'explorer la zone de contact métallique entre deux barres omnibus en aluminium ou des cosses qui se chevauchent pour permettre la circulation du courant. Cela semble être un contact idéal puisque les deux barres omnibus sont en contact direct l'une avec l'autre, et en augmentant la zone de chevauchement, nous pouvons augmenter la surface qui permet le transfert du courant.

En réalité, un examen microscopique de la zone de contact apparente (la zone géométrique où les deux barres omnibus se chevauchent) montre que la **véritable zone de contact électrique** est formée par une combinaison de pics et de creux générés par les aspérités de surface saillantes qui permettent au courant de circuler à travers les pics des deux surfaces qui sont en contact. Ce ne sont que ces pics (saillies irrégulières) d'une surface (barre omnibus) qui rencontrent les pics de l'autre surface (barre omnibus) qui créent de véritables **points de contact « a »**^[2]. L'ensemble du flux de courant passe uniquement par ces pics ou « points a », qui sont des irrégularités de surface des matériaux qui nous donnent les points de contact électrique dont nous avons tant besoin et qui ne représentent qu'**environ 5 % de la surface mécanique ou apparente (zone de chevauchement des deux barres omnibus dans notre exemple) et dont la taille varie de quelques microns à plusieurs dizaines de microns**^{[1], [2]}.

En d'autres termes, **l'électricité doit passer dans ce passage étroit, des points de contact resserrés générés par des aspérités de contact de surface (pics) et il est important que ces « points a » de contact soient maintenus à long terme à une faible résistance et sans dégradation, sinon des défaillances de fusion et d'emballement thermique peuvent se produire.**

L'intégrité des points de contact peut être obtenue et maintenue en utilisant une certaine rugosité de surface afin de maximiser le nombre et les dimensions des points « a », en utilisant une finition de surface métallique appropriée, etc. La dégradation des points « a » peut également se produire en raison de l'augmentation de la température (associée à un flux de courant plus élevé), qui entraîne à son tour une plus grande oxydation, corrosion, usure de contact et relaxation des contraintes. Une résistance de contact plus faible peut être obtenue en augmentant la force de contact par sertissage ou boulonnage. Cependant, il y a une limite à l'augmentation de la force, car à un certain moment, la saturation est atteinte, et une nouvelle augmentation de la force ne continue pas à diminuer la résistance. En même temps, la résistance de contact n'augmente pas instantanément une fois que l'application de la force a cessé et qu'un bon contact électrique a été créé. Ce n'est que si la force descend en dessous d'une certaine limite que nous voyons la résistance de contact augmenter^{[1], [2]}.

Comprendre la physique des contacts nous aide à nous rendre compte qu'au départ, lorsque le contact est établi, nous devons atteindre le point de saturation (force maximale avec une résistance de contact minimale), mais aussi être capables de maintenir une certaine force minimale pendant la durée de vie de la connexion électrique pour un rendement adéquat.

En raison d'autres facteurs, comme le flux de matière dans le matériau conducteur, la force de contact diminue avec le temps (p. ex., vieillissement du contact), il est important de compenser avec des caractéristiques/composants de conception élastiques (p. ex., rondelles à ressort pour les connexions boulonnées).

Un autre facteur contribuant à la dégradation des contacts électriques est la formation d'une pellicule d'oxyde d'aluminium (qui se produit lorsque l'aluminium est en contact avec l'oxygène de l'atmosphère), qui est non conducteur.

Par conséquent, les contacts électriques en aluminium créés grâce à l'utilisation de la technologie de sertissage sont soumis à une dégradation continue due au flux de matière (connecteur et conducteur), à l'oxydation de l'aluminium ou au manque de caractéristiques élastiques incorporées, etc. Cela signifie que, du point de vue de la conception de la technologie à boulons de cisaillement continu, les contacts électriques peuvent être améliorés en incorporant des points et des lignes de contact techniques définis, plutôt que des zones géométriques mécaniques apparentes (pas de véritables zones électriques)^[1].

✓ **Considérations de conception – écoulement du matériau, vieillissement thermique, élasticité, résistance à la traction :** Un bon exemple pour faire avancer notre discussion sur la conception supérieure de la technologie à boulons de cisaillement continu est le cas des cosses boulonnées (terminaux). Il est non seulement recommandé de brosser à sec et à l'eau le conducteur en aluminium avant de sertir le canon, mais aussi de brosser le côté du tampon qui se connecte à la barre omnibus pour multiplier les « points A » de contact. Pour protéger la surface extérieure de l'oxydation, nous pouvons utiliser une pâte de contact. **Pour que le couple appliqué se traduise par une force de contact optimale, les boulons doivent être graissés.**

Toutes ces considérations sont prises en compte et intégrées dans la technologie à boulons de cisaillement continu. Les boulons et les rainures transversales de l'alésage du connecteur sont graissés pour aider à prévenir l'oxydation.

Nous savons que la chaleur vieillit et dégrade les connexions électriques, étant donné que la plupart des propriétés des matériaux sont liées à la température. La résistance électrique augmente également avec la charge thermique, ce qui dégrade davantage la connexion et réduit sa durée de vie utile. Les cycles de chauffage et de refroidissement affectent également le flux et la récupération des matériaux qui, s'ils sont correctement pris en compte, dicteront la bonne force de contact de conception initiale. En outre, comme le flux de matériau entraîne une diminution de la force de serrage au fil du temps, une bonne conception tiendra compte d'une certaine perte de force au fil du temps, mais pas en dessous d'un niveau minimum susceptible de compromettre la fiabilité à long terme de la connexion. **C'est pourquoi la technologie à boulons de cisaillement continu intègre des choix et des propriétés de matériaux, ainsi que de l'élasticité dans sa conception. En comparaison, les connecteurs à compression, une fois installés (sertis), sont rigides, n'ont pas d'éléments de conception élastiques intégrés et, en raison de la nature inhérente de la technologie, sont mal outillés pour offrir un rendement à long terme^[1].**

D'autres éléments de conception importants sont liés à la longueur, l'épaisseur et la largeur du corps du connecteur, et la corrélation de ces dimensions avec la force **de contact ne produit pas de déformation plastique permanente du corps du connecteur lors de l'installation**. Comme expliqué précédemment, dans la technologie à boulons de cisaillement continu, une force de contact suffisante est déterminée pour permettre une résistance de contact à long terme assez faible, ce qui atténue également l'allongement du conducteur induit par la température. Cet élément de conception est important, car l'allongement du conducteur dû à la chaleur entraîne un frottement (micromouvements entre le conducteur et les pièces de contact), qui peut entraîner des défaillances dues à la dégradation du contact s'il n'est pas atténué.

En outre, la conception de la technologie à boulons de cisaillement continu permet aux connecteurs de « respirer thermiquement » et d'être élastiques, de sorte qu'un certain équilibre doit être atteint entre la force et l'élasticité. Ceci est obtenu en utilisant un corps en aluminium qui a un taux d'expansion thermique semblable à celui du conducteur en aluminium et en contrôlant la déformation élastique du corps du connecteur en aluminium : à mesure que le boulon se resserre, **le corps du connecteur se déforme élastiquement à des points définis. Par conséquent, ce type de conception s'oppose à l'écoulement et au tassement des matériaux, ce qui permet aux différents sous-composants des matériaux de respirer thermiquement et ainsi d'atténuer le vieillissement par contact^[1].**

Comme discuté dans la partie 1 du présent document, en termes de technologie de sertissage, l'industrie utilise des types de sertissage symétriques (matrices hexagonales CSA, matrices Burndy en U, etc.). D'autres types de sertissages (p. ex. sertissage à indentation) sont également disponibles. De telles installations de sertissage entraînent un écoulement du conducteur dans la direction axiale et, par conséquent, une réduction de la surface transversale des brins. La force qui est appliquée avec la technologie de sertissage symétrique doit être équilibrée avec les exigences de résistance à la traction de l'application. Avec la technologie à boulons de cisaillement continu, les boulons ont une **plaque inférieure droite ou un disque de friction**, et non un fond convexe comme c'est le cas avec certains modèles à cisaillement par étapes qui percent les brins des conducteurs, ce qui réduit la résistance à la traction en retirant du matériau des brins lors de l'installation. Cela permet **d'appliquer la pression de manière plus uniforme et la force appliquée est suffisamment élevée pour obtenir un rendement électrique à long terme, suffisamment modérée pour fournir une élasticité et encore suffisamment élevée pour satisfaire aux exigences mécaniques minimales de la classe 2.**

Le disque de friction ne tourne pas. Lorsque le boulon entre en contact avec le conducteur, le boulon se resserme et le disque de friction n'applique une force qu'au conducteur au lieu de tourner contre les brins du conducteur. Il en résulte un frottement **minimal entre le boulon et le conducteur, ce qui maximise la force appliquée qui transfère la majeure partie du couple en une force de contact élevée, laquelle est nécessaire pour un rendement électrique à long terme.**

En outre, des rainures transversales sont usinées au fond de l'alésage du connecteur, ce qui augmente la résistance à la traction et améliore la conductivité transversale des conducteurs à brins et la circulation du courant entre les brins intérieurs et extérieurs du conducteur. Les rapports d'essais QCI de 3M révèlent des résultats d'essais de résistance à la traction compris entre 58 et 91 %, dépassant de loin les exigences minimales de 40 % de résistance à la traction relative (RTR)^[3].

Partie 2 : Résumé

La technologie à boulons de cisaillement continu utilise une conception optimisée du filetage avec un pas plus grand qui offre un certain nombre d'avantages tels que l'application d'une force de contact plus élevée sur le conducteur, la diminution de la friction sur le filetage (transférant ainsi plus de couple à la zone de contact plutôt que de le gaspiller par friction) et la diminution des forces de cisaillement, ce qui facilite l'installation.

Partie 3 :

Tableau de comparaison : la technologie à boulons de cisaillement c. la compression par sertissage

Connecteurs à boulons de cisaillement continu	Compression par sertissage	Observations et références
---	----------------------------	----------------------------

Conception

La conception supérieure pour un rendement et une fiabilité à long terme. La conception et la corrélation avec rendement facile à comprendre et à évaluer grâce à des essais.	Basé sur directives de conception des meilleures pratiques connues utilisées dans l'industrie, mais permet des variations d'un fabricant à l'autre. Difficile pour l'utilisateur final d'évaluer la conception, la fiabilité et le rendement.	Référence 4 à la page 16
La conception de boulons de cisaillement continu; les boulons se cisailent à des valeurs prédéterminées éliminant ainsi la variabilité du champ et les erreurs potentielles.	S'installe par sertissage à l'aide de matrices et d'outils de compression	
Le disque de friction au bas aidant à maximiser la force de contact pour un rendement électrique à long terme. La force appliquée est également optimisée pour permettre un comportement élastique du connecteur/contact et permet des exigences mécaniques de classe 2. Le boulon presse le conducteur contre la paroi du corps du connecteur, créant ainsi une bonne connexion. En même temps, le disque de friction protège et préserve l'intégrité des brins du conducteur.	S.O.	Référence 3 à la page 16
Le filetage de boulon optimisé transférant plus de force à la zone de contact, réduisant le frottement sur les filetages et diminuant les forces de cisaillement.	S.O.	
L'élasticité intégrée à la conception pour atténuer le vieillissement et garantir un rendement à long terme.	Le produit final rigide et installé soumis au flux de matière, à la relaxation, etc. limité par la technologie.	
L'atténuation du vieillissement des contacts grâce à l'incorporation d'éléments de conception pour permettre la respiration thermique, la déformation élastique du corps lors de l'installation et les choix de matériaux pour maximiser les propriétés élastiques.	Difficile d'intégrer des mécanismes d'atténuation du vieillissement par contact de conception autres que les meilleures pratiques de conception standard (p. ex. : taux de compression dans certaines plages, utilisation de certains alliages).	
La respiration thermique intégrée à la conception permettant un équilibre adéquat entre la force et l'élasticité atténuant le flux et la sédimentation du matériau.	S.O.	
Le contact électrique amélioré en incorporant des lignes et des points de contact prédéfinis.	S.O.	
Les boulons graissés pour maximiser la force de contact et le couple. Les rainures transversales graissées pour éviter l'oxydation.	S.O.	

Les rainures d'alésage transversales du connecteur pour améliorer le contact électrique et la résistance à la traction.	S.O.	
La capacité de remplacer une gamme complète, réduisant l'inventaire.	Le connecteur de taille unique par taille de conducteur résultant en de grandes familles de produits avec augmentation des stocks.	
Une meilleure dissipation thermique en raison d'un diamètre extérieur accru (conçu pour le plus gros conducteur de la gamme et d'une épaisseur de paroi accrue pour permettre l'engagement du filetage).	La dissipation de la chaleur en fonction du diamètre extérieur du connecteur et de la dégradation de l'âge.	Référence 4 à la page 16
La force de contact par conception : force de contact suffisante pour maintenir la résistance de contact à long terme et atténuer l'allongement induit par la température du conducteur.	S.O.	
La paroi centrale du connecteur solide (conception étanche) est standard.	La plupart des connecteurs à compression standard comportent une paroi ajustée par pression qui n'est pas étanche. L'utilisateur doit spécifier une conception « arrêt d'huile ou étanche à l'eau ».	

Installation

L'installation facile. S'installe avec une clé à main ou une clé à chocs à batterie.	Une multitude d' outils de sertissage lourds, volumineux et coûteux (manuels, hydrauliques, alimentés par pile) sont utilisés, ce qui conduit à un inventaire élevé d'outils différents (différents couples, forces, etc.) qui doivent être vérifiés, entretenus, remplacés.	
Pas de système de matrices. Seulement trois normes, des tailles standard de clé hexagonale/douille et une installation simple garantissent la cohérence de l'installation et des coûts d'exploitation à long terme inférieurs. Permet d'obtenir les mêmes résultats à chaque fois.	Une variété de matrices de plusieurs fabricants , plusieurs fois mal interchangeables et mal utilisées qui conduisent à des problèmes sur le terrain en raison d'un sertissage incorrect.	
L'installation facile : l'insertion rapide et facile de la clé hexagonale/clé à douille.	La préparation de l'installation prend du temps et est sujette à des erreurs. (Plusieurs matrices pour les connecteurs CU et AL, faciles à perdre sur le chantier et risques de choisir la mauvaise matrice, associées à un certain coût avec des délais de livraison accrus, doivent s'adapter et convenir à des outils et des forces spécifiques qui ne sont pas interchangeables entre les fabricants).	
Le brossage métallique des conducteurs AL non requis en raison de la présence de rainures transversales.	Le rendement dépend fortement du brossage adéquat des conducteurs AL à l'aide d'une brosse métallique.	Référence 4 à la page 16
Pas besoin d'inhibiteur d'oxyde.	Le rendement dépend fortement de l'utilisation d'un inhibiteur d'oxyde pour les connexions de conducteurs AL.	Référence 3 et 4 à la page 16

<p>Le sertissage non applicable. La fabrication de couple et de cisaillement contrôlés sans expertise et savoir-faire requis sur le terrain. Le produit final installé et le rendement à long terme ne dépendent pas des compétences.</p> <p>Se cisaille toujours sous la surface extérieure (sans parties saillantes ni arêtes vives)</p> <p>Permet d'obtenir les mêmes résultats à chaque fois.</p>	<p>Le sertissage requis et les erreurs de sertissage pouvant inclure :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mauvaises matrices • Sertissage insuffisant • Trop serti (p. ex. si le chevauchement du sertissage est autorisé, combien?) • Sertissages non tournés (peut conduire à un effet « banane ») • Pas ou peu de tolérance de croissance (AL) en raison de l'expansion (nécessité de refaire l'installation ou de compromettre l'isolation) • Mauvais positionnement du sertissage (p. ex., trop proche ou écrasant la paroi médiane du connecteur) • Élimination complète ou partielle de l'inhibiteur d'oxyde sur le terrain (en supposant que la quantité correcte soit appliquée lors de la fabrication), ce qui réduit l'espérance de vie • Ne pas retirer les arêtes vives après le sertissage (peut couper les couches isolantes) 	
<p>Les anneaux de centrage pour améliorer la concentricité du conducteur avec alésage de connecteur.</p>	<p>Pas nécessaire (le conducteur et le connecteur sont concentriques)</p>	
<p>Aucun problème d'ergonomie signalé. S'installe avec une clé à main ou une clé à chocs à batterie et des douilles hexagonales standard. Un outil de retenue n'est pas nécessaire, mais est disponible pour plus de commodité et si vous le souhaitez.</p>	<p>Les problèmes d'ergonomie :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presses non étalonnées – soit utilisées sans force appropriée ou étalonnage fastidieux conduisant à des retards d'installation. • Les bonnes matrices ne sont pas facilement disponibles sur le terrain – conduit à l'utilisation de matrices incorrectes ou à des achats de matrices adéquates qui sont coûteux en temps • De gros outils lourds et difficiles à manier, qui peuvent ne pas tenir entre les phases des câbles à trois conducteurs ou dans des endroits étroits (enfouissement direct ou petits trous d'homme, etc.) • Peut nécessiter l'assistance d'un deuxième installateur 	
<p>Tous les connecteurs/cosses à boulons de cisaillement sont livrés avec des instructions d'installation faciles à suivre.</p>	<p>Ne comprend pas d'instructions d'installation. Le type de matrice est inscrit sur le connecteur. La compression et la force non marquées.</p>	

* Essais de cycle de courant par immersion (CCST)

** Essai de cycle de courant (CCT)

Application

<p>Le connecteur comportant un plus grand diamètre extérieur pour les plus grandes tailles de câble et bénéficiant également d'une paroi plus épaisse pour accommoder le fil, offrant ainsi une meilleure dissipation thermique, rendant le connecteur mieux adapté aux applications difficiles comme les applications avec une charge élevée. La même conception de connecteur est utilisée pour les applications à BT, à MT et HT, ce qui simplifie la sélection et élimine la confusion.</p>	<p>Les cycles de chauffage répétés : il n'existe pas de critères clairement définis pour la sélection adéquate des connecteurs basée sur les applications. La plupart du temps, la sélection est basée sur la taille et le type de conducteur. Les caractéristiques du connecteur telles que le canon « court » ou « long » ne sont pas clairement définies. Devriez-vous choisir le même connecteur pour une épissure de câble pour parc éolien de 35 kV rempli de brins de 500 kcmil soumis à de fortes variations de charge quotidiennes répétées comparativement à une épissure de câble RW90 de 600 V de 500 kcmil?</p>	<p>Référence 4 à la page 16 (connecteur à boulon de cisaillement fonctionnant à une température plus basse pour la même capacité par rapport aux connecteurs à compression)</p>
<p>Connecteur conçu sur la base de contre-mesures pour atténuer le flux et la récupération des matériaux naturels, le vieillissement thermique, etc., comme l'élasticité intégrée et le maintien d'une force de contact minimale pour un rendement à long terme.</p>	<p>La charge élevée constante : les réseaux vieillissants des services d'utilité publique sont soumis à des charges plus élevées pendant des périodes prolongées ou continues, ce qui ne fait qu'accélérer le vieillissement thermique, diminuant ainsi la fiabilité et réduisant la durée de vie prévue des connecteurs à compression.</p>	
<p>La classe 2 (semi-tension min. de 40 % de RTR), mais les résultats des essais révèlent des résultats dépassant de loin l'exigence minimale de 40 % de RTR.</p>	<p>La sélection d'une classe d'utilisation mécanique :</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Classe 2 (semi-tension min. de 40 % du RTS) ● Classe 3 (aucune semi-tension min. de 5 % du RTS) <p>Il est difficile pour l'utilisateur final de sélectionner la classe de service adéquate (la plupart des connecteurs du commerce ne comportent aucune indication sur leur classe de service)</p>	<p>Référence 3 à la page 16</p>
<p>Gamme plus large. 3 connecteurs couvrent toutes les applications n° 2 AWG – 1000 kcmil.</p>	<p>Aucune capacité de correspondre à une gamme d'applications.</p>	
<p>Accommode toute configuration de brins ou de conducteurs (y compris celles qui ne sont pas standard, notamment les configurations trapézoïdales, flexible/extra-flexible, solide, etc.)</p>	<p>La configuration des brins et des conducteurs. La plupart des applications standard font référence à des conducteurs d'alimentation ronds à brins concentriques. Certaines applications (p. ex. conducteurs flexibles ou extraflexibles) nécessitent des connecteurs spéciaux.</p>	
<p>Certaines conceptions de connecteur fonctionnent très bien pour les applications de conducteurs en Al et en Cu, grâce à la conception robuste convenant à toute la gamme et à l'augmentation de l'épaisseur de la paroi et de l'élasticité incorporée dans la conception.</p>	<p>Habituellement, les connecteurs sont conçus différemment pour les applications de conducteurs en Al et en Cu.</p>	

Essai

<p>Mis à l'essai selon les normes suivantes : C 119.4 de l'ANSI CEI 61238-1 (1 000 cycles; mesures du facteur de résistance et 6 essais en court-circuit)</p>	<p>Habituellement mis à l'essai selon les normes suivantes : C 119.4 de l'ANSI (100 cycles – méthode * CCST ou 500 cycles – méthode CCT**; essais en court-circuit optionnel/à titre informatif uniquement) C 57 de la CSA (semblable aux essais cycliques de chauffage C 119.4 de l'ANSI et aux essais mécaniques; essais en court-circuit optionnels/à titre informatif uniquement)</p>	<p>L'essai IEC 61238-1 représente un essai de type plus rigoureux par rapport à ceux des normes ANSI C 119.4 ou CSA C 57 auxquelles la plupart des connecteurs à compression sont mis à l'essai</p>
<p>Les trois connecteurs QCI 2-250; QCI 350-750; QCI 500-1000 ont été électriquement (cycle thermique) mis à l'essai pour la plus grande taille de conducteur de la gamme et mise à l'essai mécaniquement (résistance à la traction mécanique) pour la plus petite et la plus grande taille de conducteur. Étant donné que seulement 3 connecteurs couvrent toute la gamme allant du n° 2 AWG à 1 000 kcmil, TOUS les connecteurs sont mis à l'essai et il n'est pas nécessaire de s'appuyer sur des définitions ambiguës pour la « même famille » de connecteurs pour classer les connecteurs qui ne sont pas soumis aux essais.</p>	<p>Les essais basés sur le classement par « famille » nécessitent qu'au moins 3 tailles soient mises à l'essai (le plus petit, le moyen et le plus grand). Les autres tailles intermédiaires n'ont pas été mises à l'essai, mais nous supposons qu'elles fonctionneront correctement, puisqu'elles font partie de la « même famille ». Outre le fait de conserver le même matériel pour toute la famille, il est impossible de définir techniquement avec précision ce qu'est la « même famille » (étant donné que chaque connecteur de la famille a des dimensions différentes en fonction de sa taille).</p>	<p>Référence 3 à la page 16</p>

Prix

<p>Le prix unitaire plus élevé par rapport aux connecteurs à compression. Cependant, ils réduisent le coût de possession à long terme grâce à une conception supérieure, moins de défauts, des coûts d'installation/ d'outillage inférieurs, etc.</p>	<p>Le prix unitaire inférieur par rapport aux connecteurs à boulon de cisaillement. Le coût de possession à long terme plus élevé au cours de la durée utile.</p>	<p>Référence 1 à la page 16</p>
---	---	---------------------------------

Résultats

La technologie à boulons de cisaillement continu offre de nombreux avantages de conception que les technologies à compression ou à cisaillement par étapes ne peuvent pas offrir, ce qui se traduit par des avantages d'installation et un rendement supérieur à long terme. Des éléments de conception scientifique comme les points de contact prédéfinis, l'élasticité incorporée, l'atténuation du vieillissement des contacts, l'optimisation de la force de contact, etc., sont incorporés dans la conception et produisent un connecteur supérieur par rapport aux technologies existantes. Des essais comparatifs d'essais cycliques de chauffage montrent que les connecteurs à boulons de cisaillement continu fonctionnent à des températures plus basses, vieillissent moins thermiquement et durent plus longtemps que les connecteurs à compression en Al dans les mêmes conditions d'essai.

La facilité et l'uniformité de l'installation, la capacité de prise de distance et l'élimination des coûts d'outillage supplémentaires (matrices, outils de compression), associées à la capacité d'accommodement des conducteurs à brin en Cu et en Al, sont des considérations à prendre au sérieux qui font de la technologie à boulons de cisaillement continu l'option de connexion de premier choix pour les applications industrielles et utilitaires.

Conclusion

Les avancées technologiques dans le domaine des boulons de cisaillement continu offrent de multiples avantages qui renforcent la sécurité et la fiabilité du réseau et éliminent bon nombre des inconvénients de la technologie à compression par sertissage, ce qui réduit le coût total de possession à long terme.

Des technologies comme le boulon de cisaillement continu jouent un rôle encore plus vital dans l'infrastructure vieillissante des services d'utilité publique qui non seulement nécessite des mises à niveau substantielles, mais offre également de nouvelles options de construction pour un réseau électrique plus robuste et plus fiable.

Pour plus d'informations sur les produits et solutions électriques 3M, contactez-nous à l'adresse 3Menergysolutions@mmm.com.

Bibliographie (littérature citée)

1. Pfisterer CONNEX. Focus on contact, novembre 2018.
2. Timron Scientific Consulting Inc. Atelier sur le rendement et la fiabilité des raccordements électriques, Toronto, Ontario Canada, le 4 et le 5 février 2002.
3. Rapports d'essai de 3M : CRQCI2-250; CRQCI350-750; CRQCI500-1000, juin 2010.
4. Taylor, Bill. Long term current cycling of connectors under joints, document de présentation technique 3M. Aucune donnée disponible.

Avis important

Renseignements techniques : Les renseignements techniques, les lignes directrices et les autres énoncés fournis aux présentes, ou par l'entremise d'autres indications de 3M, sont basés sur des dossiers, des essais et des expériences que 3M juge dignes de confiance, mais dont l'exactitude, l'exhaustivité et la pertinence ne sont pas garanties. Ces renseignements sont destinés à des personnes qui possèdent les connaissances et les compétences techniques requises pour les évaluer et exercer un jugement éclairé à leur égard. Aucune licence d'utilisation de droits de propriété intellectuelle de 3M ou d'un tiers n'est consentie ou implicite en vertu de ces renseignements.



Division des marchés des produits électriques de 3M
3M Canada
C.P. 5757
London (Ontario) N6A 4T1
1 800 364-3577
3M.ca/Électrique