



Fiabilité des épissures : **une évaluation de cinq facteurs** **ayant une incidence sur la durée** **utile d'une épissure électrique** **moyenne tension**

George Fofeldea
Ingénieur électricien, 3M Canada

août 2019

Quelle est la durée utile d'une épissure moyenne tension?

De nombreux paramètres permettent de déterminer la durée utile globale d'une épissure. Parmi ces paramètres, cinq identificateurs de fiabilité clés nous permettent de mieux estimer la durée utile d'une épissure électrique. Ces cinq identificateurs sont les suivants :

- ① Technologie
- ② Matériaux
- ③ Conception
- ④ Exécution du travail
- ⑤ Procédures d'essai



Table des matières

Introduction	4
Matériaux et méthodes	4
Discussion	4 à 5
1. Technologie	5
1.1. Désavantages de la technologie des épissures rétractables à la chaleur	5
1.2. Désavantages de la technologie des épissures enclenchables	5
1.3. Avantages de la technologie des épissures rétractables au froid	5
2. Matériaux	6
3. Conception	6 à 9
3.1. Contrainte électrique à l'intérieur de l'épissure	6
3.2. Continuité de toutes les couches de câble	8
3.3. Marge d'erreur dans le cadre de l'installation	8
3.4. Tension de tenue au choc (TTC)	8
3.5. Qualité et fiabilité de la fabrication	9
4. Exécution du travail	9
5. Procédures d'essai	9
Conclusion	10
Tableaux et graphiques	10
Figure 1 : Profil des températures pour une configuration d'épissure de 15 kV	10
Figure 2 : Représentation d'une contrainte de 15 kV	11
Bibliographie	12
Avis important	12

Introduction

L'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} a été conçue pour permettre l'installation facile des épissures de câbles et offrir une fiabilité élevée. Elle a été lancée sur le marché nord-américain en 1996.

La conception en caoutchouc de silicone de l'épissure de câble QS-III a révolutionné l'épissage des câbles d'alimentation en remédiant aux problèmes d'installation des épissures traditionnelles, qui nécessitaient de pousser, de tirer ou d'utiliser une source de chaleur. En éliminant le besoin d'appliquer de la chaleur et d'utiliser la force, l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} a offert au marché une solution plus sécuritaire et plus fiable d'épisser les câbles d'alimentation moyenne tension.

Notre vaste expérience sur le terrain – plus de 23 années avec les Épissures rétractables au froid QS-III 3M^{MC} et plus de 40 années avec les Terminaisons rétractables au froid QT-II et QT-III 3M^{MC} (Fofeldea, G., 2018) – nous a aidés à mieux comprendre la durée utile des accessoires de câbles moyenne tension.



Le saviez-vous?

3M a inventé la technologie de rétraction au froid il y a plus de 50 ans!

Matériaux et méthodes

La durée utile des épissures électriques moyenne tension a été déterminée à l'aide de cinq facteurs de fiabilité essentiels : **la technologie, les matériaux, la conception, l'exécution du travail et les procédures d'essai.**

L'évaluation : un examen fondé sur les 23 années d'expérience sur le terrain avec les Épissures rétractables au froid QS-III 3M^{MC}, les rapports d'enquête sur les défaillances et les 50 années d'expérience dans la conception et la fabrication de matériaux rétractables au froid.



Discussion

En examinant les cinq facteurs de fiabilité qui ont une incidence sur la durée utile d'une épissure de câble moyenne tension, le présent document vise à déterminer le produit qui offre la plus grande fiabilité.

① Technologie

1.1. Désavantages de la technologie des épissures rétractables à la chaleur

En général, les épissures rétractables à la chaleur nécessitent plus d'étapes d'installation que les épissures rétractables au froid (p. ex., appliquer de la chaleur pour que l'épissure s'adapte à la forme des câbles), ce qui ajoute plus de risques d'erreurs pendant l'installation.

Une application inégale de la chaleur peut entraîner la combustion des différentes couches rétractables à la chaleur et la création d'une épaisseur de paroi irrégulière. Si de telles erreurs sont commises pendant le processus d'installation, la durée utile d'une épissure rétractable à la chaleur peut être réduite.

1.2. Désavantages de la technologie des épissures enclenchables

Outre les étapes d'installation plus fastidieuses (c.-à-d., graisser les câbles, pousser le corps de l'épissure dans un mouvement de va-et-vient, réduire la préparation des câbles asymétriques, etc.), un désavantage majeur des épissures enclenchables est la tolérance limitée pendant l'installation. La conception de l'épissure enclenchable ne permet qu'un chevauchement minimal de ½ pouce du semi-conducteur, alors qu'une épissure fraîchement installée peut facilement bouger, réduisant ainsi ce chevauchement crucial.

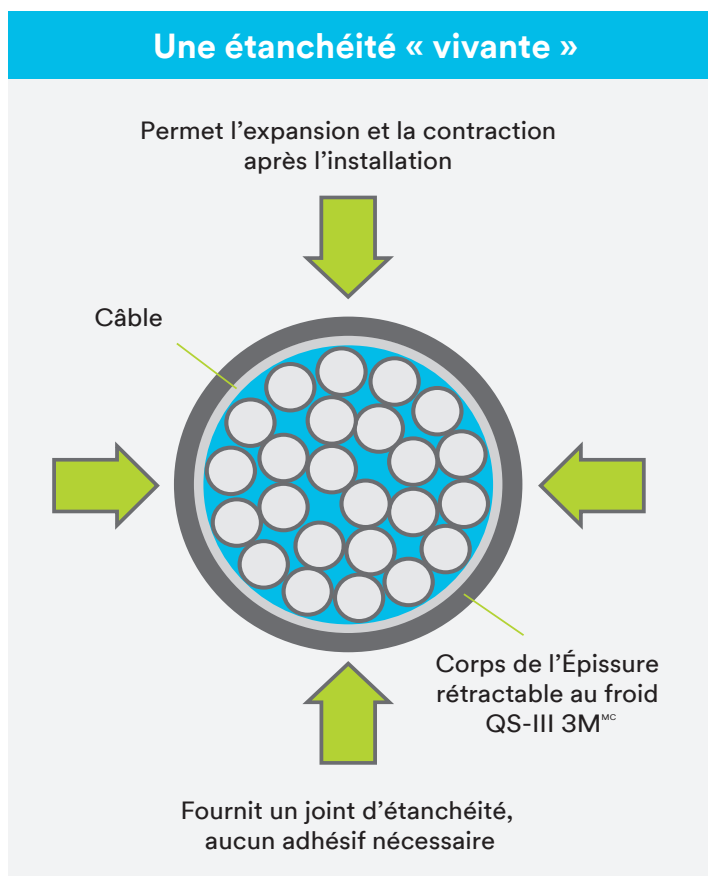
Pour une durée utile optimale, une épissure enclenchable doit fournir une pression initiale suffisante pour ne pas provoquer de défaillance électrique. De plus, la pression d'installation initiale doit être suffisamment basse pour permettre de pousser le corps de l'épissure sur le câble. Les recherches démontrent toutefois que, dans le cas des épissures enclenchables, jusqu'à 90 % de la pression initiale est perdue au cours des cycles de chauffage (Amyot, N. et coll., 2001), ce qui réduit la durée utile globale de l'épissure. **En comparaison, la pression initiale dans l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} est beaucoup plus élevée et n'est pas affectée par les cycles thermiques, ce qui améliore la fiabilité de l'épissure de câble.**

1.3. Avantages de la technologie des épissures rétractables au froid

Aucun des désavantages présentés ci-dessus ne s'applique à la technologie de rétraction au froid de 3M. 3M a conçu cette technologie pour procurer une fiabilité à long terme – **pendant toute la durée utile du câble – tout en contribuant à assurer un excellent rendement sur le plan électrique.** L'étanchéité « vivante » se dilate et se contracte selon les variations de température et de charge sur le câble.

L'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} se contracte fermement sur l'isolant du câble, **assurant ainsi une étanchéité active sans perte de pression découlant du cycle thermique du câble.** De plus, l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} offre une large gamme d'applications, et la conception générale du corps de l'épissure (c.-à-d. la longueur de l'électrode interne semi-conductrice ou du boîtier externe) vise à aider à réduire au minimum les erreurs pouvant survenir pendant l'installation.

L'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} fournit une pression constante vers l'intérieur



② Matériaux

Pour déterminer la durée utile des épissures de câbles, il faut également évaluer les divers matériaux servant à la fabrication des épissures rétractables au froid. Deux principaux types de matériaux sont utilisés pour fabriquer les épissures rétractables au froid : **le caoutchouc éthylène-propylène-diène (EPDM)** et **le caoutchouc de silicone**.

Les épissures composées de caoutchouc EPDM présentent un coefficient d'élasticité plus faible, ce qui les rend plus difficiles à installer par temps froid. En conséquence, ce matériau nécessite parfois de la chaleur pour se rétracter sur le câble.



130 °C ou 140 °C

Deux types de caoutchouc de silicone sont utilisés pour fabriquer les épissures rétractables au froid :

1. un caoutchouc de silicone liquide « non rempli » transparent
2. un matériau qui est « rempli » d'additifs thermoconducteurs

Les additifs dissipant la chaleur utilisés dans l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} nous permettent de respecter les exigences de température de surcharge d'urgence du câble de 130 °C ou 140 °C de la norme 404 de l'IEEE, tant sur les conducteurs en aluminium que sur ceux en cuivre. (En vertu de la norme 404 de l'IEEE, les essais de cycle thermique doivent être effectués à la température de surcharge d'urgence du câble.)

Les conceptions des Épissures rétractables au froid QS-III 3M^{MC} sont mises à l'essai selon les scénarios de la pire éventualité sur des conducteurs en aluminium dotés de connecteurs de compression en aluminium et une isolation en polyéthylène réticulé (XLPE). En raison du matériau de silicone unique utilisé pour l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC}, la région du connecteur d'une Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} de 15 kV produit généralement entre 10 °C et 15 °C de moins que le conducteur lui-même (*voir la figure 1 à la page 10*). Cette caractéristique est importante, car une bonne dissipation de la chaleur thermique par le corps de l'épissure permet de prolonger la durée utile d'une épissure installée.

③ Conception

La conception du corps de l'épissure a une influence importante sur la fiabilité à long terme d'une épissure de câble moyenne tension, produisant ainsi un impact direct sur la durée utile. Maintenant que nous savons que le matériau utilisé pour fabriquer l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} **aide à prolonger** la durée utile d'une épissure installée, nous allons maintenant évaluer la conception de l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC}.

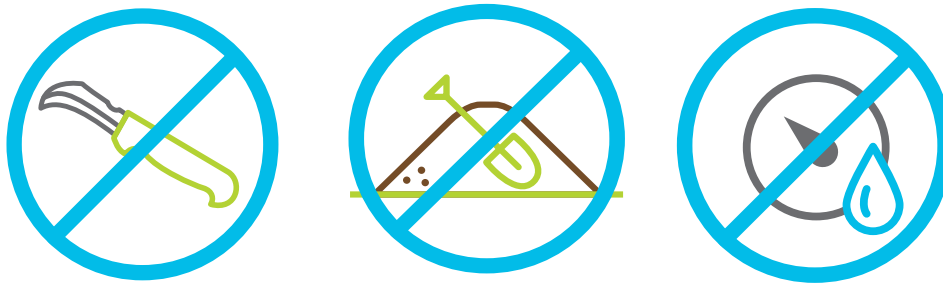


3.1. Contrainte électrique à l'intérieur de l'épissure

La conception de l'électrode de l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} est unique. Elle est conçue pour aider à assurer un contrôle et une gestion précis de la contrainte électrique le long de l'interface entre l'isolant et le câble et sur le blindage du connecteur dans l'isolant de l'épissure. La géométrie précise combine les extrémités arrondies de l'électrode interne avec une conception d'électrode interne de coupe inférieure à la cote et un boîtier de semi-conducteur externe arrondi pour aider à réduire les contraintes électriques.

Selon les exigences de conception de l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC}, la contrainte interfaciale maximale ne doit pas dépasser la moitié de la contrainte exercée sur le blindage du connecteur, et la contrainte maximale appliquée sur le blindage du connecteur doit correspondre aux deux tiers environ de la contrainte maximale dans le câble (*voir la figure 2 à la page 11*).

En raison de la géométrie précise de l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC}, les contraintes électriques à l'intérieur de l'épissure sont inférieures à celles exercées sur l'isolant du câble. E4 dans la **figure 2** correspond à la contrainte électrique la plus élevée pour un câble de 15 kV et représente environ 72 V/mil. La contrainte maximale dans le corps de l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} pour un câble de 15 kV est E2 et représente environ 36 V/mil – soit environ la moitié de E4. L'installateur ne peut d'aucune manière perturber la contrainte E2 puisqu'elle se trouve à l'intérieur du corps de l'épissure (autrement dit, la fabrication est contrôlée par 3M). **Cette faible contrainte E2 améliore la sécurité et la fiabilité du corps de l'épissure.**



En outre, E3 dans la **figure 2** est situé à l'interface entre l'isolant du câble et le corps de l'épissure. E3 est un point extrêmement important, car toute irrégularité dans la préparation du câble (p. ex., les coupures possibles, la saleté, l'humidité, etc. sur l'isolant) aura pour effet d'accroître les contraintes dans cette région.

Avec la conception unique de l'électrode interne de coupe inférieure à la cote de l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC}, E3 ne représente que 12,7 V/mil et offre une sécurité et un rendement à long terme accrus.

Pour aider à démontrer l'incidence positive de cette conception complexe et précise du contrôle géométrique des contraintes, nous devons examiner les tensions de tenue au choc (TTC) de base de l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC}.

L'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} présente une TTC supérieure à la catégorie d'épissures correspondante; par exemple, les épissures de 25 kV répondent aux exigences de TTC établies pour les épissures de 35 kV. Cette classification supérieure de la TTC témoigne des faibles contraintes à l'intérieur du corps de l'épissure, **ce qui améliore la fiabilité à long terme et la durée utile globale.**

Dans une Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} installée de manière appropriée, la contrainte électrique dans l'épissure est inférieure à celle présente dans le câble.

$$E1, E2, E3 < E4$$

Une épissure bien conçue, une fabrication de haute qualité et une installation appropriée peuvent éliminer le maillon faible de l'épissure traditionnelle dans un câble et accroître la durée utile de l'installation de l'épissure de câble.

Il existe des épissures appliquées au froid qui sont fabriquées avec du caoutchouc EPDM. Dans certaines conceptions, le processus de fabrication des épissures de caoutchouc EPDM appliquées au froid nécessite le meulage de la couche conductrice interne pour créer l'interface d'isolation. Cette technique forme une pointe acérée à l'extrémité de l'électrode et un espace entre l'isolant et l'électrode, ce qui explique pourquoi une grande quantité de graisse est nécessaire pour réduire la contrainte électrique à ces endroits.

En revanche, l'électrode de l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} est moulée et conçue de manière à lui donner une forme arrondie afin de réduire au minimum la contrainte électrique. **La réduction au minimum de la contrainte électrique contribue à améliorer le rendement à long terme.**

De plus, certaines épissures de caoutchouc EPDM appliquées au froid sont munies d'un blindage distinct appliqué

au froid dans le cadre du processus de fabrication. Par conséquent, le corps entier de l'épissure ne peut pas être mis à l'essai selon les deux exigences d'essai de production exigées par la norme 404 de l'IEEE, qui permet en échange de réaliser différents essais de matériaux et de sous-composants.

L'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} est un corps d'épissure moulé, et chaque corps est mis à l'essai conformément aux exigences d'essai de production de la norme 404 de l'IEEE, qui contribuent à améliorer la sécurité et la fiabilité.

3.2. Continuité de toutes les couches de câble

L'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} assure la continuité de toutes les couches du câble. Le boîtier externe de l'épissure est constitué d'une couche épaisse de 3 à 4 mm de matériau semi-conducteur, avec une capacité d'amorçage de courant de court-circuit à court terme. Cette couche chevauche fermement la couche semi-conductrice du câble et forme un bouclier solide de matériau semi-conducteur, d'un côté à l'autre de l'épissure.

Cela contribue à permettre une fiabilité à long terme, car elle ne repose pas sur un treillis de cuivre pour assurer la continuité de la couche semi-conductrice, contrairement à d'autres conceptions appliquées au froid.

Les corps des Épissures rétractables au froid QS-III 3M^{MC} sont conformes aux exigences de la norme 592 de l'IEEE (également connue sous le nom d'« essai du clou »), en raison de l'épaisseur du boîtier du semi-conducteur externe moulé. D'autres conceptions appliquées au froid utilisent une couche semi-conductrice externe peinte plus mince et ne peuvent pas respecter les exigences de la norme 592 de l'IEEE.

Bien que la conformité à la norme 592 de l'IEEE ne soit pas obligatoire selon la norme 404 de l'institut, **l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} respecte les exigences d'essai de la norme 592, offrant ainsi un produit supérieur et plus fiable.**

3.3. Marge d'erreur dans le cadre de l'installation

La longueur de l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} permet à la couche semi-conductrice extérieure de s'étendre sur la couche semi-conductrice du câble, au-delà de l'exigence minimale de ½ pouce. Cela rend l'épissure plus tolérante en cas d'erreur de positionnement.

De même, l'électrode semi-conductrice interne est assez longue, ce qui permet l'utilisation de connecteurs longs ou courts et réduit au minimum les erreurs lorsque vient le temps de retirer la longueur de l'isolant.

Par conséquent, la conception de l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} aide à réduire la marge d'erreur pendant l'installation.

3.4. Tension de tenue au choc (TTC)

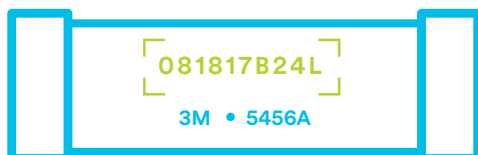
Comme il a été décrit à la **section 3.1**, l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} est mise à l'essai selon un niveau de tension alternative normal (p. ex., 15 kV, 25 kV, 28 kV, etc.) et dépasse les exigences de TTC du niveau de tension alternative suivant, en raison des critères de conception à faible contrainte électrique appliqués par 3M et des nombreuses caractéristiques de conception intégrées au corps de l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC}.

Les tensions de tenue au choc (TTC) indiquent la sécurité et la fiabilité d'une conception donnée. C'est la raison pour laquelle des séries d'essais de TTC successifs sont effectuées selon la norme 404 de l'IEEE. Il convient également de noter que 3M effectue d'autres essais internes, surpassant ainsi les exigences de la norme 404 de l'IEEE. Par exemple, une épissure prenant en charge une tension alternative de 25 kV doit réussir les essais de TTC de 150 kV.



Nos fiches techniques indiquent que l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} a réussi les essais de TTC de 200 kV et que dans certains cas où nous avons mis à l'essai la TTC jusqu'à la destruction, elle a atteint des niveaux allant jusqu'à 260 kV.

3.5 Qualité et fiabilité de la fabrication



Chaque corps d'épissure 3M fait l'objet d'essais en usine – deux essais de production (décharge partielle et résistance au courant alternatif) sont effectués. Une date de fabrication estampée sur une Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} indique que le corps de l'épissure a réussi les deux essais de production et qu'il ne présente aucun défaut. Il est donc peu probable qu'un client reçoive un produit défectueux.

4 Exécution du travail

L'exécution du travail est un élément clé de toute installation d'accessoire de câble d'alimentation.

Bien que l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} soit conçue pour aider à atténuer de nombreuses erreurs d'installation, les techniques de préparation de câble appropriées doivent être utilisées.

Les mêmes techniques de préparation de câble doivent être utilisées, que l'on prévoie l'épissure du câble ou sa terminaison sur un poteau ou par un coude ou un dispositif de séparation hors charge.

Les ingénieurs d'application de 3M mènent des enquêtes sur les défaillances et fournissent aux utilisateurs finaux des rapports d'analyse qui cernent les causes premières des défaillances et formulent des suggestions pour améliorer les installations. La majorité de ces enquêtes en laboratoire mettent en évidence la mauvaise exécution du travail dans les techniques de préparation des câbles comme étant la cause principale des défaillances, conjointement avec ou indépendamment d'autres types d'erreurs (p. ex., le mauvais positionnement du corps de l'épissure, les réductions inappropriées, les erreurs d'installation liées aux connecteurs, l'utilisation incorrecte de certains rubans, etc.).



Le saviez-vous?

3M propose des modules de formation en ligne pour aider ses clients à améliorer leurs compétences en matière de préparation de câbles et leurs techniques d'installation d'épissures moyenne tension. Demandez plus de renseignements au représentant commercial de 3M de votre région.

5 Procédures d'essai

De nombreuses procédures d'essai de câble différentes sont offertes et utilisées sur le terrain. La norme 400 de l'IEEE décrit les méthodes et procédures d'essai. Les méthodes d'essai ne s'équivalent pas toutes, en ce sens que les câbles sont soumis à des contraintes différentes. La norme 400 de l'IEEE répertorie également les avantages et les inconvénients des méthodes d'essai données. Par exemple, au fil des ans, de nombreuses installations ont abandonné les essais à courant continu à potentiel élevé puisqu'ils présentent de nombreux inconvénients et réduisent la durée utile, accélèrent le temps jusqu'à défaillance et vieillissent les câbles présentant un début de défectuosité avant la mise à l'essai.

Les essais de type effectués dans les laboratoires de 3M sur des épissures neuves et de vieilles épissures prises sur le terrain nous aident à comprendre le rendement à long terme et à mieux prévoir la durée utile.

Selon la méthode utilisée, la mise à l'essai d'un câble sur le terrain peut avoir des conséquences négatives sur la durée utile restante du câble et la durée utile estimée des épissures dans cette boucle. Les conditions d'essai, la méthode d'essai et le nombre d'essais effectués pendant la durée utile du câble avec des épissures incluses dans les circuits sont tous des facteurs à prendre en compte pour estimer la durée utile des câbles et des épissures. Un bon nombre de ces facteurs sont uniquement contrôlés par l'installation.

Conclusion

La durée utile de l'Épissure rétractable au froid QS-III 3M^{MC} aide à atteindre ou à dépasser celle du câble, puisque 3M utilise les meilleurs matériaux, conceptions et techniques de fabrication qui soient pour rendre l'épissure la plus fiable possible.

Plus de 23 années d'excellent rendement avec les Épissures rétractables au froid QS-III 3M^{MC} jumelées à plus de 50 années d'innovation dans la technologie de rétractation au froid ont conduit à la conception de produits d'épissure et de terminaison rétractables au froid pour des applications allant jusqu'à 69/72,5 kV (Compagnie 3M, 2012), qui ont contribué à améliorer la sécurité, la fiabilité et la durée utile des accessoires de câbles.

Pour obtenir de plus amples renseignements sur les produits et solutions électriques de 3M, veuillez communiquer avec nous à l'adresse 3Menergysolutions@mmm.com.

Tableaux et graphiques

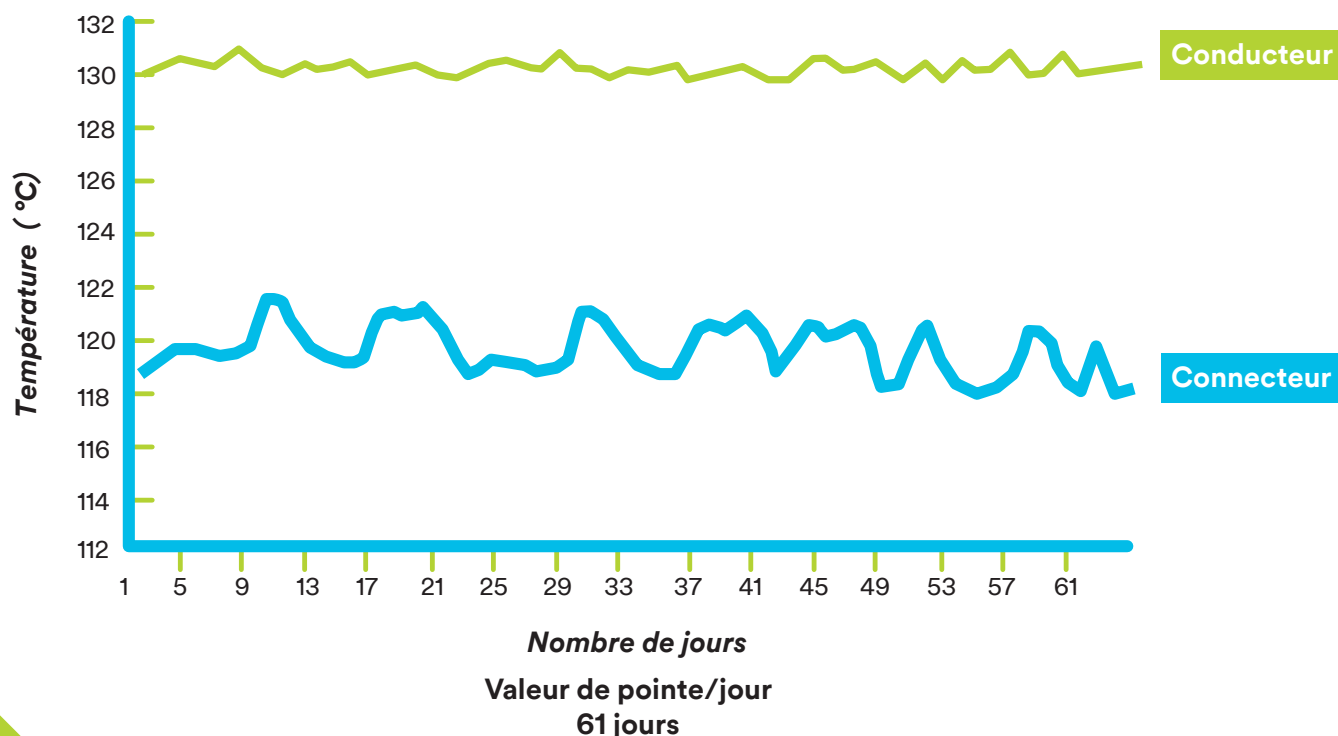
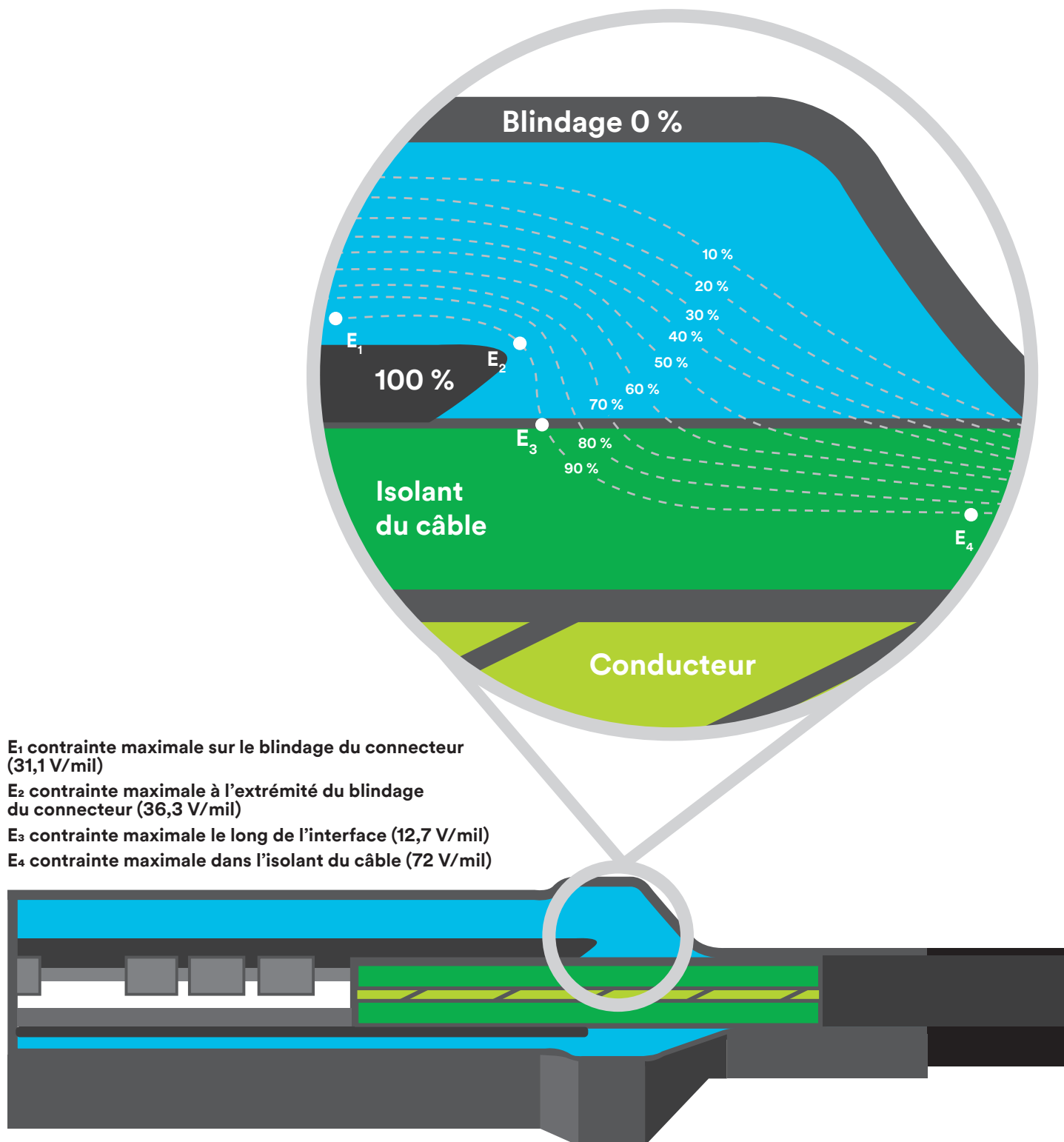


Figure 1 : Profil des températures pour une configuration d'épissure de 15 kV



▲
Figure 2 : Représentation d'une contrainte de 15 kV



Bibliographie

Compagnie 3M. « 3M™ Cold Shrink Joints and Terminations for high voltage applications », 2012, pp. 1 à 4.

Amyot, N. et coll. « The Effect of Thermal Cycling on the Cable Joint Interfacial Pressure », 2001. pp. 1 à 4.

Fofeldea, G. « Geometric vs. Capacitive Stress Control: choosing cable termination accessories to help reduce electrical stress. », 2018, pp. 1 à 12.

Fofeldea, G. « How do you take your splice? Integrated or not » 2015, pp. 1 à 7.

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/Électricité

3M et 3M Science. Au service de la Vie. sont des marques de commerce de 3M, utilisées sous licence au Canada. © 2019, 3M. Tous droits réservés. 1905-14785 F