3M Science.
Au service de la Vie.[MC]

Comparaison du contrôle capacitif et géométrique des contraintes :

Choisir les accessoires de terminaison de câbles pour aider à réduire les contraintes électriques.

George Fofeldea
Ingénieur électricien, Compagnie 3M Canada

Août 2018

Résumé

3M a inventé la technologie rétractable à froid en 1968.

Les ingénieurs de 3M ont utilisé du terpolymère éthylène-propylène-diène (EPDM), un nouveau caoutchouc à l'époque, et ont mis au point une formule unique qui a ouvert la voie à la technologie de produits rétractables à froid 3M[MC] – un joint sous tension pour aider à gérer les contraintes électriques.

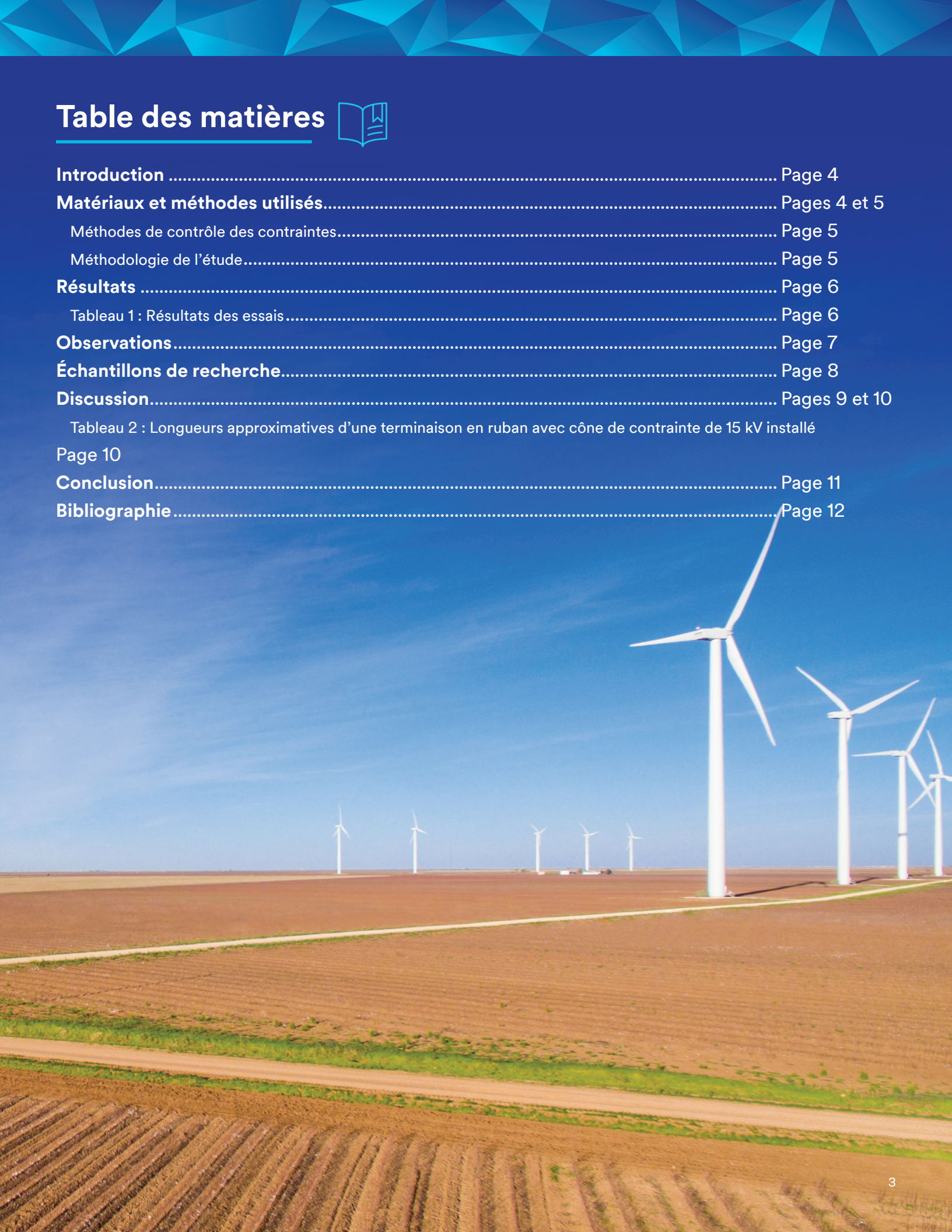
Ces tubes en caoutchouc spécialement formulés offraient également des avantages d'installation. Comme elle ne nécessitait ni source de chaleur ni outils supplémentaires, la technologie rétractable à froid 3M[MC] est devenue une solution considérablement simplifiée pour la terminaison de câbles.

Réalisant les avantages de cette méthode de terminaison de câbles (c.-à-d. facilité d'installation, joint sous tension, etc.), d'autres fabricants ont mis sur le marché des conceptions d'apparence similaire.

Leur ressemblance signifie-t-elle que leur rendement est le même?

Table des matières

Introduction ..... Page 4
Matériaux et méthodes utilisés ..... Pages 4 et 5
Méthodes de contrôle des contraintes ..... Page 5
Méthodologie de l'étude ..... Page 5
Résultats ..... Page 6
Tableau 1 : Résultats des essais ..... Page 6
Observations ..... Page 7
Échantillons de recherche ..... Page 8
Discussion ..... Pages 9 et 10
Tableau 2 : Longueurs approximatives d'une terminaison en ruban avec cône de contrainte de 15 kV installé
Page 10
Conclusion ..... Page 11
Bibliographie ..... Page 12



Introduction

Le but de cette étude est de répondre à la question suivante : *Est-ce que toutes les terminaisons moyenne tension rétractables à froid s'équivalent?* On pourrait penser que la réponse est « oui » puisque l'industrie suit la même norme d'essai 48 de l'IEEE.

Cependant, les résultats des essais indiquent qu'elles ne sont pas toujours équivalentes.

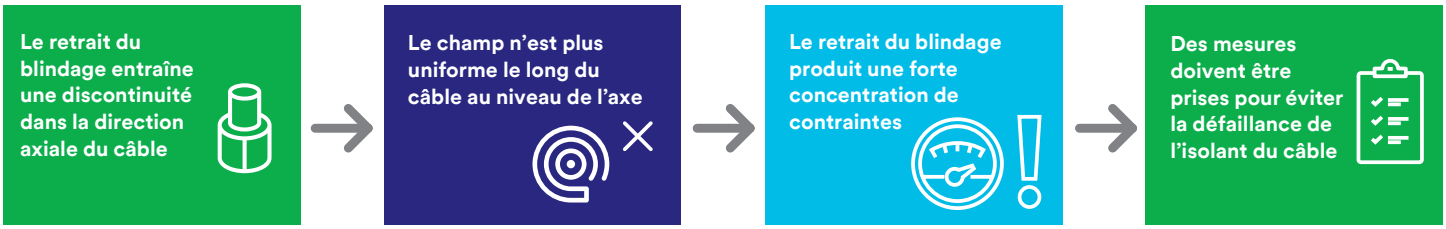
Matériaux et méthodes utilisés

Il est important de comprendre ce qu'il advient du champ électrique lorsqu'une terminaison de câble est installée.

Dans un câble moyenne tension blindé type (5 à 46 kV) avec un blindage continu, le champ électrique est uniforme tout le long de l'axe du câble, mais le champ lui-même varie dans une direction radiale.

Lorsqu'une terminaison est installée sur un câble, le retrait du blindage provoque une discontinuité dans la direction axiale du câble, ainsi le champ n'est plus uniforme le long de l'axe. Ce processus produit une forte concentration de contraintes électriques plus près de l'extrémité du blindage.

La **Figure 1** montre un dessin sans contrôle des contraintes. Ces contraintes électriques à l'extrémité du blindage doivent être réduites pour éviter la défaillance de l'isolant du câble. Cette réduction est appelée **contrôle de la contrainte électrique**.



Dessin sans contrôle des contraintes

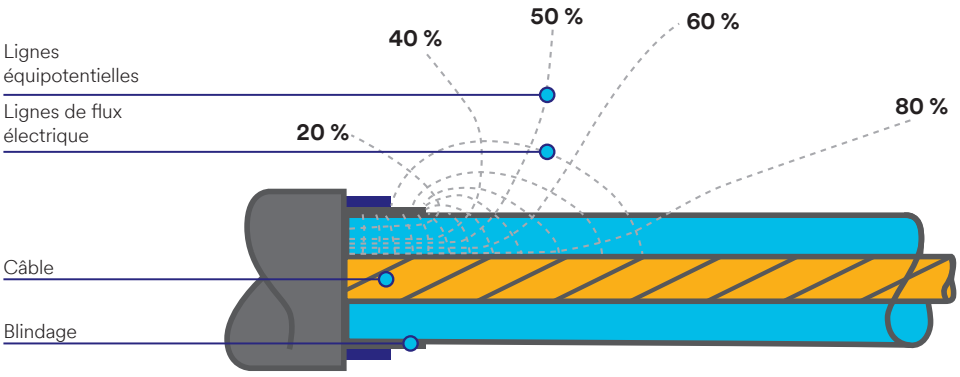


Figure 1

Méthodes de contrôle des contraintes

1 Cône de contrainte géométrique traditionnel

Cette méthode réduit la contrainte au niveau de la discontinuité du blindage en prolongeant le blindage et en augmentant progressivement l'épaisseur de l'isolant sous le blindage. Les zones où la contrainte électrique est plus élevée reçoivent une isolation supplémentaire, comme le montre la **Figure 2** ci-dessous.

Contrôle géométrique des contraintes

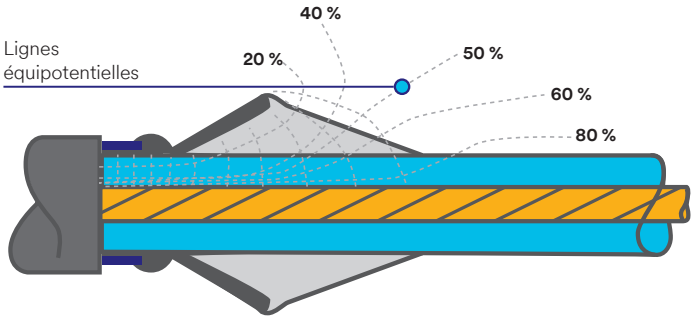


Figure 2

2 Contrôle des contraintes à constante diélectrique élevée

Cette méthode réduit les contraintes électriques au niveau de la discontinuité du blindage par réfraction. Cela permet aux lignes équipotentielles de se répandre le long de l'interface d'isolation du câble. De cette façon, les contraintes de surface de la terminaison sont considérablement réduites, ce qui améliore le rendement de la terminaison du câble et la durée utile, comme le montre la **Figure 3** ci-dessous.[1, 3]

Contrôle capacitif des contraintes

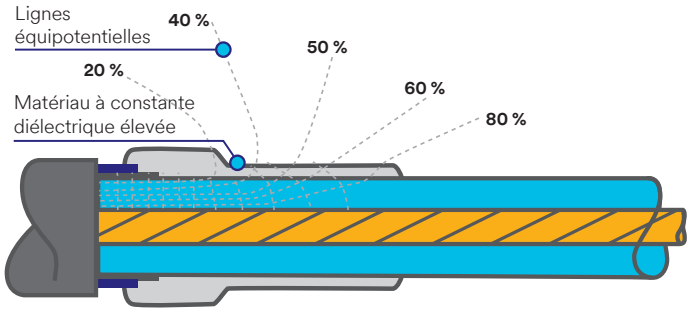


Figure 3

Méthodologie de l'étude

Un essai a été effectué dans un environnement de laboratoire contrôlé afin de déterminer la méthode la plus efficace pour contrôler les contraintes électriques.

La comparaison : Les produits rétractables à froid 3M[MC] utilisant le contrôle capacitif des contraintes à constante diélectrique élevée par rapport aux produits rétractables à froid concurrents utilisant le contrôle géométrique des contraintes.

1 Essais d'une terminaison rétractable à froid avec cône de contrainte géométrique concurrente

- Les terminaisons rétractables à froid avec cône de contrainte géométrique de 15 kV et 25/28 kV de la concurrence ont été mises à l'essai conformément à la séquence d'essais à court terme de la norme 48-2009 de l'IEEE
- Des terminaisons de 15 kV ont été installées sur des câbles de 350 kcmil/15 kV
- Des terminaisons de 25/28 kV ont été installées sur des câbles de 4/0/25 kV
- Des essais de décharge partielle ont été effectués en utilisant un seuil de 3 pC

2 Essais de la Terminaison rétractable à froid avec contrôle capacitif des contraintes à constante diélectrique élevée 3M[MC]

- Terminaison rétractable à froid 7695-S-4 3M[MC] (rapport de l'essai : CRQTIII-7695-S-4) homologuée pour les applications de 25/28 kV, mise à l'essai à des niveaux de 28 kV, conformément à la norme 48-2009 de l'IEEE, sur un câble de 750 kcmil/25 kV
- Terminaison rétractable à froid 7655-S-150 3M[MC] (rapport de l'essai : CRQTIII-7655-T-150) homologuée pour les applications de 25/28 kV, mise à l'essai à des niveaux de 35 kV pour des utilisations à l'intérieur, conformément à la norme 48-2009 de l'IEEE, installée sur un câble de 500 kcmil/35 kV

Résultats

Les résultats des essais présentés reflètent le rendement de la méthode de contrôle des contraintes.

Tableau 1 : Résultats des essais

Réussite : ● Échec : ● Non mis à l'essai : ●

Terminaison rétractable à froid avec cône de contrainte concurrente	Tension nominale	DP (TAC/TEC)	Résistance au c.a. pendant 1 minute	Résistance au c.c. pendant 15 minutes	TTC (+/- 10 surtensions)	TTC À CHAUD (+/- 10 surtensions)	DP (TAC/TEC)	Résistance au c.a. pendant 5 heures	Résistance au c.a. pendant 5 minutes	TCC (+/- 10 surtensions)	DP (TAC/TEC)
Échantillon 1	15 kV	ED à 31 kV (réussite) ●	50 kV (réussite) ●	-75 kV (réussite) ●	110 kV (réussite) ●	110 kV (réussite) ●	ED à 31 kV (réussite) ●	31 kV (réussite) ●	39 kV (réussite) ●	110 kV (réussite) ●	ED à 31 kV (réussite) ●
Échantillon 2	28 kV (mis à l'essai à des niveaux de 28 kV)	17,3/14,2 kV (échec) ●	73 kV (échec) ●	●	●	●	●	●	●	●	●
Échantillon 3	28 kV (mis à l'essai à des niveaux de 28 kV)	21,0/18,5 kV (échec) ●	73 kV (échec) ●	●	●	●	●	●	●	●	●
Échantillon 4	28 kV (mis à l'essai à des niveaux de 25 kV)	15,4/13,9 kV (échec) ●	65 kV (échec) ●	●	●	●	●	●	●	●	●
Échantillon 5	28 kV (mis à l'essai à des niveaux de 25 kV)	ED à 50 kV (réussite) ●	65 kV (réussite) ●	-105 kV (réussite) ●	150 kV (réussite) ●	150 kV (réussite) ●	34,7/33,3 kV (réussite) ●	50 kV (échec) ●	●	●	●
Échantillon 6	28 kV (mis à l'essai à des niveaux de 25 kV)	15,9/14,6 kV (échec) ●	73 kV (réussite) ●	-116 kV (réussite) ●	165 kV (réussite) ●	165 kV (réussite) ●	16,6/15,6 kV (échec) ●	56 kV (échec) ●	●	●	●
Terminaison rétractable à froid à construction diélectrique élevée 7695-S-4 3M℠, échantillon 1*	25/28 kV (mis à l'essai à des niveaux de 28 kV)	44,6 kV/44 kV (réussite) ●	73 kV (réussite) ●	-116 kV (réussite) ●	165 kV (réussite) ●	165 kV (réussite) ●	ED à 56 kV (réussite) ●	56 kV (réussite) ●	73 kV (réussite) ●	165 kV (réussite) ●	ED à 56 kV (réussite) ●
Terminaison rétractable à froid à construction diélectrique élevée 7695-S-4 3M℠, échantillon 2*	25/28 kV (mis à l'essai à des niveaux de 28 kV)	46,3 kV/ 45,5 kV (réussite) ●	73 kV (réussite) ●	-116 kV (réussite) ●	165 kV (réussite) ●	165 kV (réussite) ●	ED à 56 kV (réussite) ●	56 kV (réussite) ●	73 kV (réussite) ●	165 kV (réussite) ●	ED à 56 kV (réussite) ●
Terminaison rétractable à froid à construction diélectrique élevée 7655-T-150 3M℠, échantillon 1*	25/28 kV (mis à l'essai à des niveaux de 35 kV)	62,4 kV/ 59,5 kV (réussite) ●	90 kV (réussite) ●	-140 kV (réussite) ●	150 kV (réussite) ●	150 kV (réussite) ●	ED à 71 kV (réussite) ●	71 kV (réussite) ●	91 kV (réussite) ●	150 kV (réussite) ●	ED à 71 kV (réussite) ●
Terminaison rétractable à froid à construction diélectrique élevée 7655-T-150 3M℠, échantillon 2*	25/28 kV (mis à l'essai à des niveaux de 35 kV)	ED à 71 kV (réussite) ●	90 kV (réussite) ●	-140 kV (réussite) ●	150 kV (réussite) ●	150 kV (réussite) ●	ED à 71 kV (réussite) ●	71 kV (réussite) ●	91 kV (réussite) ●	150 kV (réussite) ●	ED à 71 kV (réussite) ●

Légende

c.a. : Courant alternatif
TTC : Tension de tenue au choc
TAC/TEC : Tension d'amorçage corona / tension d'extinction corona
c.c. : Courant continu
ED : Exempt de décharge
TTC À CHAUD : Tension de tenue au choc à la température d'urgence du câble
DP : Décharge partielle

** Chaque échantillon consiste en un morceau de câble avec des terminaisons à chaque extrémité. Au total, 4 terminaisons ont été mises à l'essai.*

Observations

Les produits rétractables à froid 3M[MC] avec un contrôle capacitif de contraintes à constante diélectrique élevée se sont avérés plus efficaces pour contrôler les contraintes électriques que les produits concurrents dotés d'un contrôle géométrique de contraintes.

L'échantillon de Terminaison rétractable à froid 7695-S-4 3M[MC] et l'échantillon de Terminaison rétractable à froid 7655-T-150 3M[MC] ont tous deux réussi l'essai pour leur tension nominale.

Les résultats des essais des terminaisons rétractables à froid avec cône de contrainte géométrique concurrentes n'ont pas connu le même succès :

✓ **L'échantillon 1** de la terminaison rétractable à froid de 15 kV dotée d'un cône de contrainte a réussi la séquence d'essais à court terme fondée sur les exigences de la norme 48-2009 de l'IEEE.

✗ **Les échantillons 2, 3, 4, 5** et **6** des terminaisons rétractables à froid de 25/28 kV dotées d'un cône de contrainte n'ont pas satisfait aux exigences des essais de la norme 48-2009 de l'IEEE.

✗ **Les échantillons 2** et **3** ont échoué l'essai initial de décharge partielle (tension d'apparition de 17,3 kV, tension d'extinction de 14,2 kV, tension d'apparition de 21 kV et tension d'extinction de 18,5 kV respectivement). De plus, une défaillance interne des terminaisons s'est produite à l'extrémité du mastic de remplissage des vides pendant l'essai de résistance au courant alternatif de 1 minute à 73 kV, ce qui a entraîné la rupture de l'isolant du câble à cet endroit.

✗ **L'échantillon 4** a échoué l'essai initial de décharge partielle (tension d'apparition de 15,4 kV et tension d'extinction de 13,9 kV). Une défaillance interne de la terminaison s'est également produite à l'extrémité du cône de contrainte géométrique pendant l'essai de résistance au courant alternatif de 1 minute à 65 kV, ce qui a également entraîné une défaillance du câble.

✗ **L'échantillon 5** a réussi les essais de décharge partielle avant et après l'essai de TTC à chaud, mais a échoué l'essai de résistance au courant alternatif de 5 heures à 45 kV à la 19e minute. La défaillance est survenue à une certaine distance du bord semi-conducteur du câble, dans la longueur du mastic de remplissage des vides.

✗ **L'échantillon 6** a échoué l'essai de décharge partielle initial (tension d'apparition de 15,9 kV et tension d'extinction de 14,6 kV). Il a également échoué les essais de décharge partielle après l'essai de TTC à chaud (tension d'apparition de 16,6 kV et tension d'extinction de 15,5 kV) et a finalement échoué l'essai de résistance au courant alternatif de 5 heures à 56 kV à la 95e minute. La défaillance est survenue à proximité de la couche abaisseuse semi-conductrice du câble.

Échantillons de recherche

** Les images ci-dessous montrent un câble défectueux après le retrait de la terminaison, typique des échantillons 2, 3, 5 et 6.*

Échantillon 2

Échantillon 3

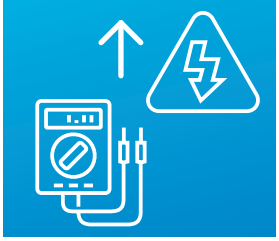
Échantillon 5

Échantillon 6

Discussion

Les résultats de cette étude démontrent les trois avantages de choisir les Terminaisons rétractables à froid 3M[MC] avec contrôle capacitif des contraintes à constante diélectrique élevée :

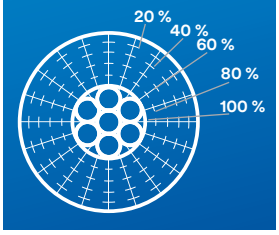
1.



Capacités de résistance élevées et fiabilité supérieure

Ces avantages peuvent être facilement démontrés en augmentant progressivement la tension sur deux types de terminaisons, l'une avec un contrôle géométrique et l'autre avec un contrôle à constante diélectrique élevée, jusqu'à ce que les courants de fuite deviennent visibles. À une certaine tension, le cône de contrainte géométrique laissera apparaître des contraintes intenses, suivies de décharges en surface, tandis que la terminaison à constante diélectrique élevée reste exempte de décharges visibles.[2]

2.

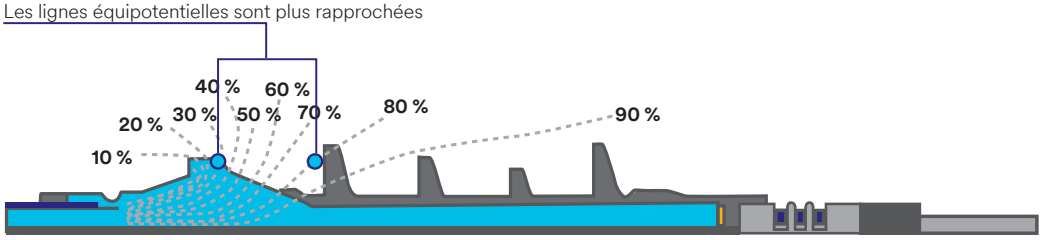


Une répartition plus uniforme du champ électrique

Une répartition uniforme du champ électrique réduit la contrainte de surface et améliore la résistance au cheminement. Les dessins de la **Figure 4** ci-dessous, à l'échelle, illustrent comment les lignes équipotentielles sont plus agglomérées (plus proches les unes des autres) sur une distance plus courte pour un cône de contrainte géométrique, par rapport à un cône de contrainte capacitif à construction diélectrique élevée, où les lignes équipotentielles sont réparties de manière plus uniforme sur une plus longue distance de surface de terminaison.[2]

Géométrique

Les lignes équipotentielles sont plus rapprochées



Constante diélectrique élevée

Les lignes équipotentielles sont plus espacées

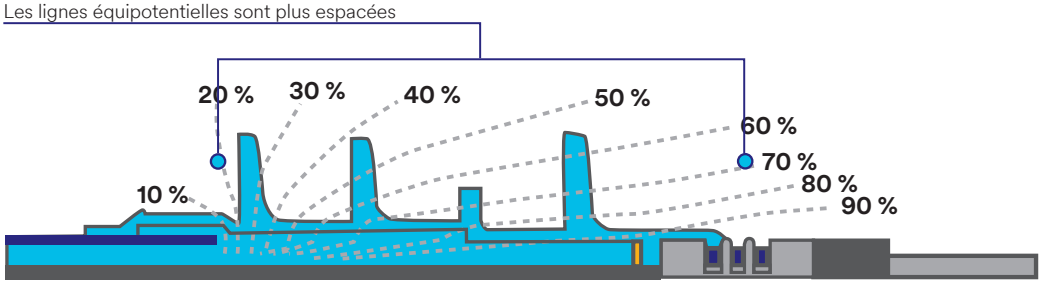


Figure 4

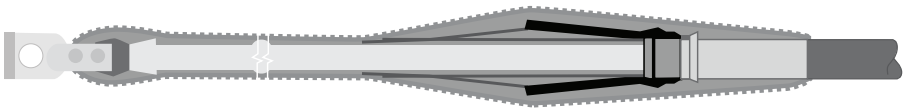
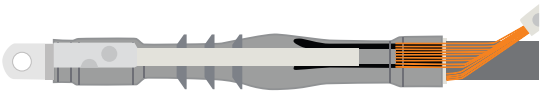
3.

Terminaison à construction diélectrique élevée plus courte

Une terminaison plus courte améliore la sécurité et la fiabilité globale, car elle réduit le risque d'erreurs de préparation de câbles associées à des interfaces d'isolation plus longues. Cette caractéristique peut également s'avérer un avantage de l'installation dans des espaces restreints, comme à l'intérieur d'appareillages de commutation.

Le **Tableau 2** indique les longueurs approximatives d'une terminaison avec cône de contrainte en ruban de 15 kV, des Terminaisons en caoutchouc à la silicone à construction diélectrique élevée pour utilisations intérieures et extérieures QT-III 3M[MC] et d'une terminaison avec cône de contrainte en silicone concurrente une fois installées. Comme indiqué, les Terminaisons rétractables à froid avec contrôle capacitif des contraintes 3M[MC] sont les plus courtes.

Tableau 2 : Longueurs approximatives des terminaisons de 15 kV installées

Type de terminaison	Image	Longueur installée*
Cône de contrainte en ruban de 15 kV 3M		50,8 cm (20 po)
Terminaison rétractable à froid extérieure à construction diélectrique élevée QT-III 3M de 15 kV		25,4 cm (10 po)
Terminaison rétractable à froid intérieure à construction diélectrique élevée QT-III 3M de 15 kV		25,4 cm (10 po)
Terminaison rétractable à froid avec cône de contrainte de 15 kV concurrente		33,02 cm (13 po)

** Les longueurs installées sont approximatives, car pour les terminaisons rétractables à froid, la longueur réelle installée dépend du diamètre de l'isolant du câble.*

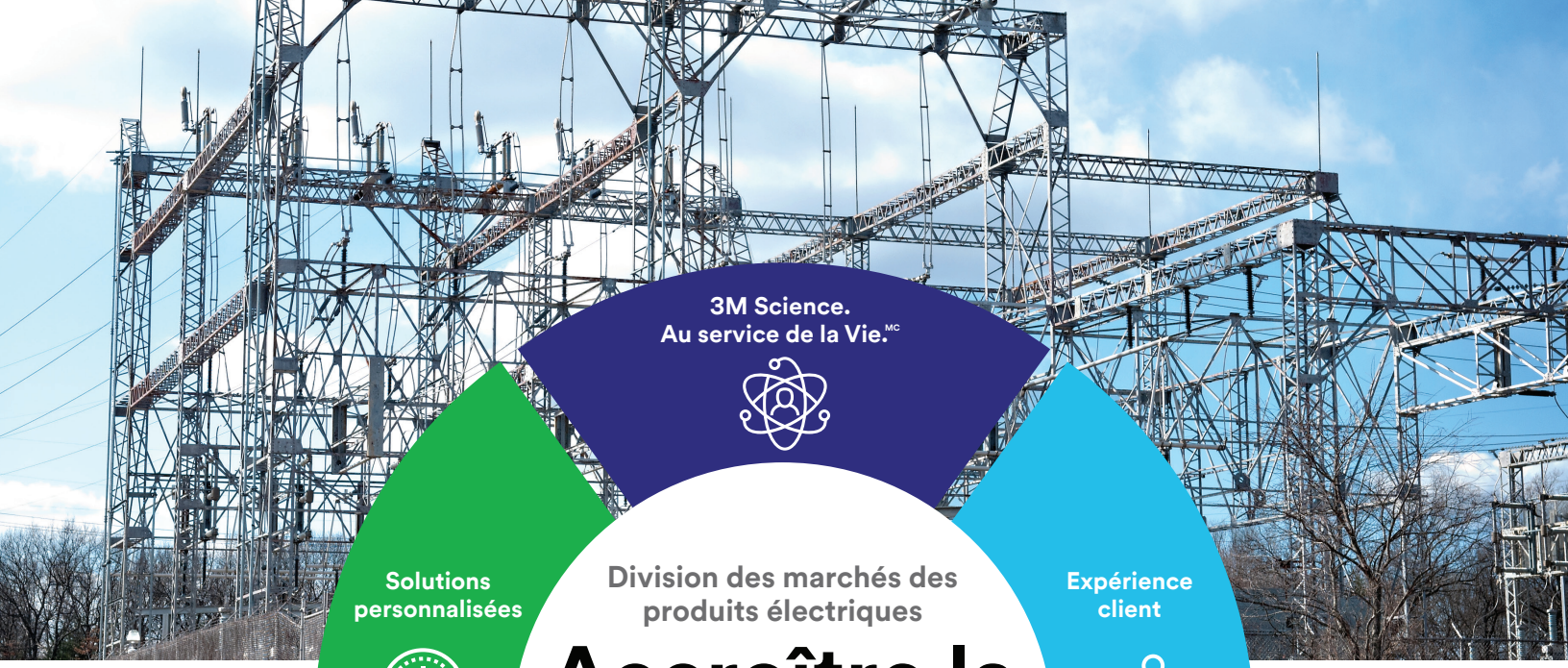
Conclusion

Les essais montrent que les Terminaisons rétractables à froid à construction diélectrique élevée 3M[MC] répondent aux exigences de la norme 48 de l'IEEE et les surpassent. Les terminaisons rétractables à froid avec contrôle géométrique des contraintes concurrentes mises à l'essai et évaluées pour des niveaux de tension de 25/28 kV ne répondent pas aux exigences de la norme, bien que les terminaisons de 15 kV soient conformes aux exigences de la norme.

La conception des Terminaisons rétractables à froid à construction diélectrique élevée avec contrôle capacitif de contraintes QT-III 3M[MC] permet une répartition uniforme du champ électrique, ce qui réduit la contrainte de surface et améliore la résistance au cheminement.

Finalement, le contrôle capacitif de contraintes de la Terminaisons rétractables à froid à construction diélectrique élevée QT-III 3M[MC] mise à l'essai est une technologie plus fiable pour les terminaisons de câbles moyenne tension.

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



Division des marchés des produits électriques

Accroître la valeur pour le client

Bibliographie

[1] TAYLOR, Bill. PCIC-2007-27 Paper, « An overview of cold applied technology for medium voltage cable accessories ».

[2] HERING, H. C. et P. N. Nelson. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, n° 11, novembre 1984, « High dielectric constant materials for primary voltage cable terminations ».

[3] WANDMACHER, R. A., J. D. Heyer et John MORRIS. Conférence de l'IEEE T&D à Los Angeles, septembre 1996, « New Silicone Cold Shrink Termination ».

Avis important

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.

3M

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

3M et 3M Science. Au service de la Vie. sont des marques de commerce de 3M, utilisées sous licence au Canada. © 2018, 3M. Tous droits réservés. 1806-12295 F BA-18-26732