

## La résistance à la corrosion des colliers Victaulic® styles 904, 905, 907, W907 et 908 sur les applications enfouies

### Résumé analytique :

Les raccords mécaniques *Victaulic* styles 904, 905 et 907 W907 et 908 pour l'assemblage de tubes en polyéthylène haute densité (PEHD) sont appropriés pour un enfouissement direct. Les segments de colliers en fonte ductile et la visserie en acier au carbone électrozinguée et revêtue de fluoropolymère offrent une longue expérience en matière de service fructueux dans les applications directes de canalisations enterrées.

Ce document propose une ligne directrice au lecteur en considérant la résistance à la corrosion des composants métalliques des colliers *Victaulic* styles 904, 905, 907, W907 et 908, incorporant les mesures acceptées pour quantifier la corrosivité du sol et les normes de contrôle de la corrosion internationalement reconnues. Diverses améliorations telles que les revêtements « standards » (époxy liquide et lié par fusion, galvanisation par immersion à chaud, etc.), des enveloppes de protection, une protection cathodique (anodes de zinc ou de magnésium) et/ou des matériaux de construction alternatifs (visserie en acier inoxydable) sont disponibles à l'option du spécificateur de matériau du projet pour les environnements agressifs.

La corrosivité du sol varie selon l'endroit et dépend de nombreux facteurs, notamment mais non exclusivement : le pH, la présence d'eau souterraine, les chlorures, le type et la gradation du sol, les impuretés chimiques et les courants électriques vagabonds. Ce rapport présente la méthode en 10 points de la norme ANSI/AWWA C105 en tant que méthode permettant de quantifier les effets potentiels de la corrosivité du sol sur les colliers *Victaulic* style 904, 905, 907, W907 et 908. Le rapport prévoit également la durée de vie utile conformément à la norme ISO 9224, en corrélant les données des essais au brouillard salin de l'environnement marin ISO 12944 C5-M des boulons revêtus de fluoropolymère avec les résultats des études de 75 années de canalisations enterrées de la Ductile Iron Pipe Research Association. Cette analyse s'est concentrée sur la visserie du collier, l'évaluation des autres composants ayant montré qu'ils étaient moins sensibles aux effets délétères du sol corrosif, en fonction de leur matériau de construction ou de leur faible niveau de contrainte appliquée.

La corrosivité des sols est un problème mondial qui requiert des solutions locales. Les réglementations locales, les autorités compétentes locales, les usages coutumiers, les spécifications des chantiers, etc., peuvent tous prévaloir sur les informations présentées dans cette directive. Cependant, en utilisant des méthodes généralement acceptées et des normes industrielles reconnues, les colliers *Victaulic* style 904, 905, 907, W907 et 908, « prêts à l'emploi », disposant d'une visserie revêtue de fluoropolymère auront une durée de vie sensiblement supérieure à 50 ans dans un sol modérément corrosif, selon l'AWWA C105 Annexe A. Des moyens supplémentaires de contrôle de la corrosion sont disponibles pour protéger davantage les produits dans des conditions de sol plus agressives et pour prolonger la durée de vie de tous les composants.

### Introduction :

Les systèmes de tuyauterie à enfouissement direct sont l'une des applications originales pour les colliers *Victaulic*. La technologie d'assemblage de tuyaux *Victaulic* a été intégrée avec succès dans les services enfouis depuis plus de 85 ans, avec des installations remontant aux années 1930. Les colliers pour systèmes rainurés standard *Victaulic*, fabriqués en fonte ductile et conformes aux exigences de la norme ASTM A536 Grade 65-45-12 avec visserie en acier au carbone électrozingué, maintiennent l'intégrité du joint pour la plupart des systèmes de tuyauterie souterrains. Les concepteurs de systèmes de tuyauterie, en fonction des conditions, des réglementations et des environnements d'exploitation locaux, peuvent choisir d'incorporer des revêtements externes tels que des résines époxy, des époxys liquides et du polyuréthane, ainsi que des revêtements externes tels que rubans ou pellicules thermorétractables, mastics et cire, pour garantir que les composants du système enfoui soient correctement protégés contre la corrosion. Si le concepteur du système de tuyauterie le souhaite, Victaulic offre des revêtements et des visseries optionnels appliqués en usine pour ajouter une protection contre la corrosion dans les environnements plus corrosifs, en plus de l'équipement standard décrit dans cet article.

Les produits Victaulic tels que les colliers styles 904, 905, 907, W907 et 908, sont conçus pour les systèmes de tuyauterie en polyéthylène haute densité (PEHD), couramment utilisés dans les installations enfouies. Des problèmes de corrosion peuvent survenir lorsque de l'acier ou d'autres composants ferreux sont introduits dans des systèmes de tuyauterie en PEHD à enfouissement direct et exposés à des environnements corrosifs. La résistance à la corrosion de la visserie de collier (boulons, écrous, etc.) présente un intérêt particulier et sera abordée dans cet article. Les autres composants du collier (segments, dispositifs de retenue et joints) devraient représenter un problème de corrosion moins important pour les concepteurs que la visserie de collier.

Pour s'aligner sur nos efforts visant à apporter de nouvelles améliorations technologiques sur le marché, Victaulic offre les raccords mécaniques avec visserie revêtue de fluoropolymère pour toutes les applications en PEHD, y compris les services enfouis. Ce rapport technique traite des essais et de la qualification des visseries de collier avec revêtement en fluoropolymère appliqué sur électrozingage standard en cas d'exposition à des conditions de service rigoureuses.

**La durée de vie utile de la visserie revêtue de fluoropolymère de Victaulic devrait dépasser les 50 ans dans un « sol de moins de 10 points », conformément à l'annexe A de la norme ANSI/AWWA C105/A21.2. Un certain nombre d'options de contrôle de la corrosion acceptées par l'industrie sont disponibles si un contrôle supplémentaire de la corrosion est jugé nécessaire.**

## Essais au brouillard salin (exposition aux agents atmosphériques) :

La corrosion externe de l'acier dans le sol peut se voir affectée par un certain nombre de variables, telles que l'humidité, le pH, la résistivité, la teneur en ions chlorure/sulfure et la présence de bactéries activant la corrosion. La corrosivité se caractérise souvent par un taux de corrosion du métal nu dans un environnement spécifique. Pour prédire la performance d'un revêtement, il est impérieux de comprendre la corrosivité de l'environnement.

Étant donné que la corrosivité des environnements pour des installations spécifiques peut ne pas être connue, Victaulic utilise les catégories de corrosivité définies par la norme ISO 12944-2<sup>2</sup> pour tester l'efficacité du revêtement. Les catégories de corrosivité atmosphérique ISO 12944-2 sont présentées à la figure 2. La visserie revêtue de fluoropolymère de Victaulic a été utilisée sur les colliers style 905 qui assemblaient des tubes en PEHD afin de simuler les forces mécaniques résultant d'une installation sur le terrain. L'ensemble complet (tel qu'illustré à la figure 3a) a ensuite été soumis à 1000 heures de brouillard salin, simulant la première année de service dans l'environnement C5-M suivant la méthode d'essai spécifiée dans la norme ISO 12944-6.<sup>3</sup> La figure 4 montre que la visserie revêtue de fluoropolymère de Victaulic présente une rouille rouge inférieure à 5 % après le test de 1000 heures. L'élément qui suscite le plus haut intérêt est la partie filetée exposée du boulon sous l'écrou, qui représente la concentration maximale de contrainte. L'examen de la partie filetée du boulon indique une bonne adhérence du revêtement en fluoropolymère et seulement un début mineur de corrosion. Le produit blanc de corrosion sur les surfaces externes du diamètre extérieur de l'écrou est une indication que l'électrozingage se corrode. Cependant, la corrosion sur l'écrou est moins importante par rapport à la partie filetée exposée du boulon.

Le même test de brouillard salin a également été effectué sur un assemblage style 905 avec une visserie en acier au carbone électrozingué sans le revêtement en fluoropolymère pour comparaison. La rouille rouge résultante est proche de 100 % sur les zones exposées après le test des 1000 heures (comme le montre la figure 5). La perte de corrosion calculée conformément à la norme ISO 9223<sup>4</sup> pour la visserie électrozinguée de Victaulic revêtue de fluoropolymère dans la catégorie de corrosivité la plus agressive de C5-M est de 74 µm (2,9 mil) pour une exposition de première année, contre 750 µm (29,5 mil) de perte d'épaisseur pour la visserie en acier au carbone non revêtu.

Catégorie de corrosivité	Perte de masse par unité de perte de surface/d'épaisseur (après la première année d'exposition)				Exemples d'environnements types dans un climat tempéré (uniquement à titre informatif)	
	Acier à faible teneur en carbone		Zinc		Extérieur	Intérieur
	Perte de masse g/m <sup>2</sup>	Perte d'épaisseur µm	Perte de masse g/m <sup>2</sup>	Perte d'épaisseur µm		
C1 très faible	< 10	< 1,3	< 0,7	< 0,1	-	Bâtiments chauffés avec des atmosphères propres, par ex. bureaux, magasins, écoles, hôtels
C2 faible	> 10 à 200	> 1,3 à 25	> 0,7 à 5	> 0,1 à 0,7	Atmosphères à faible niveau de pollution. Principalement zones rurales.	Bâtiments non chauffés où de la condensation peut se créer, par ex. dépôts, salles de sport.
C3 moyenne	> 200 à 400	> 25 à 50	> 5 à 15	> 0,7 à 2,1	Atmosphères urbaines et industrielles, pollution au dioxyde de soufre modérée. Zones côtières à faible salinité.	Salles de production avec une humidité élevée et une certaine pollution de l'air, par ex. usines de transformation alimentaire, blanchisseries, brasseries, laiteries.
C4 élevée	> 400 à 650	> 50 à 80	> 15 à 30	> 2,1 à 4,2	Zones industrielles et zones côtières à salinité modérée.	Usines chimiques, piscines, chantiers navals côtiers
C5-I très élevée (industrielle)	> 650 à 1500	> 80 à 200	> 30 à 60	> 4,2 à 8,4	Zones industrielles à forte humidité et atmosphère agressive.	Bâtiments ou zones à condensation quasi permanente et à forte pollution.
C5-M très élevée (marine)	> 650 à 1500	> 80 à 200	> 30 à 60	> 4,2 à 8,4	Zones côtières et de haute mer à forte salinité.	Bâtiments ou zones à condensation quasi permanente et à forte pollution.

- REMARQUES**
- 1 Les valeurs de perte utilisées pour les catégories de corrosivité sont identiques à celles indiquées dans ISO 9223.
  - 2 Dans les zones côtières des zones chaudes et humides, les pertes de masse ou d'épaisseur peuvent dépasser les limites de la catégorie C5-M. Des précautions spéciales doivent donc être prises lors du choix des systèmes de peinture de protection pour les structures situées dans ces zones.

Figure 2 : Catégories de corrosivité de l'ISO 12944-2



Figure 3a : Assemblage style 905 avant l'essai au brouillard salin C5-M de 1000 heures

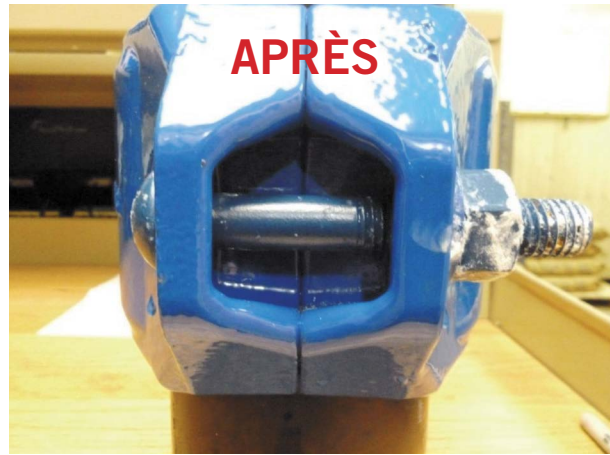


Figure 3b : Assemblage style 905 après l'essai au brouillard salin C5-M de 1000 heures



Figure 4 : Visserie revêtue de fluoropolymère de *Victaulic* après un essai au brouillard salin C5-M de 1000 heures



Figure 5 : Visserie électrozinguée en acier au carbone après un essai au brouillard salin C5-M de 1000 heures

Afin de prévoir la performance à long terme des colliers Victaulic dans un environnement corrosif rigoureux, l'évaluation de la visserie revêtue de fluoropolymère de *Victaulic* exposée dans l'environnement C5-M a été réalisée. La méthode d'estimation de la perte d'épaisseur totale des visseries en acier au carbone, électrozinguées, revêtues de fluoropolymère suit un modèle de prévision de la corrosion établi à partir de la norme ISO 9224.<sup>5</sup> Le modèle repose sur trois facteurs : (1) taux de corrosion après la première année du revêtement en fluoropolymère, calculé à partir des essais ISO 12944-6, (2) taux de corrosion logarithmique pour les métaux communs en acier au carbone, pour une exposition maximale de 20 ans et (3) un taux de corrosion linéaire pour le métal de base en acier au carbone, pour une exposition de plus de 20 ans. Cette approche conservatrice ne tient pas compte de la protection supplémentaire contre la corrosion de l'électrozingage. Le taux de corrosion de la première année se base sur le test accéléré au brouillard salin.

Sur la base des informations ci-dessus, les équations (1) et (2) de l'ISO 9224 ont été utilisées pour déterminer le taux de corrosion logarithmique et le taux de corrosion linéaire, respectivement.

$$(1) \quad D(t < 20) = r_{corr} * t^b$$

$$(2) \quad D(t > 20) = r_{corr} [20^b + b(20^{b-1})(t-20)]$$

où :

$D$  est l'attaque totale de la profondeur de pénétration en micromètres ;

$t$  est la durée d'exposition en années ;

$r_{corr}$  est le taux de corrosion de la première année en micromètres par an ;

$b$  est l'exposant temporel spécifique au milieu métallique, calculé à partir de la composition élémentaire du métal de base, conformément à l'annexe C de l'ISO 9224

$r_{corr}$  pour la visserie *Victaulic* revêtue de fluoropolymère dans l'environnement C5-M est estimé à 74 µm/an d'après les tests ISO 12944-6.

La prévision d'une attaque de corrosion maximale en termes de perte d'épaisseur totale pour les boulons revêtus de fluoropolymère *Victaulic* après une exposition prolongée dans un environnement C5-M est représentée par la ligne bleue de la figure 6.

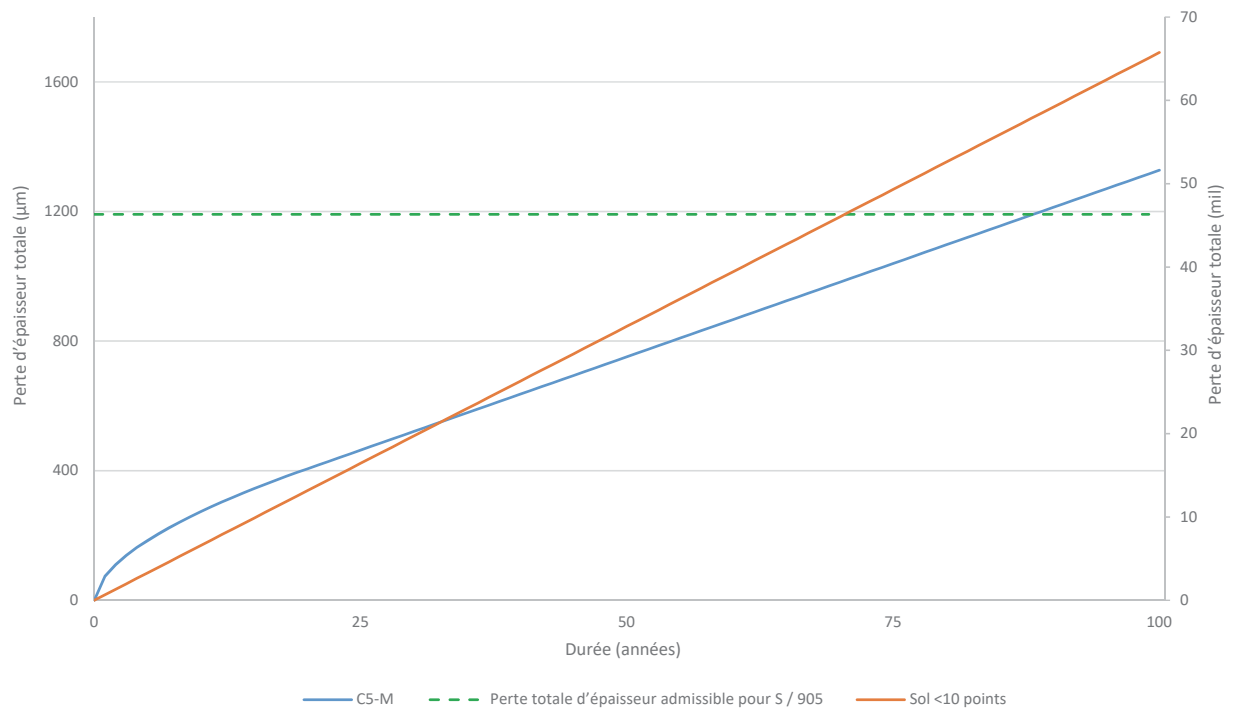


Figure 6 : Prévision de la durée de vie utile d'un boulon *Victaulic* revêtu de fluoropolymère dans les sols C5-M et <10 points

## Évaluation du service enfoui :

Afin de mettre en corrélation les catégories de corrosivité de la norme ISO 12944-2 avec les conditions de service enfoui, un certain nombre de taux de corrosion publiés pour la fonte enterrée et les tuyauteries en fonte ductile ont été examinés. Ces publications comprennent DIPRA (Ductile Iron Pipe Research Association), Bonds et. al,<sup>6</sup> Wakelin et Gummow,<sup>7</sup> Szeliga,<sup>8</sup> Bureau national des normes (NBS) (maintenant Institut national des normes et de la technologie [NIST]), Romanoff,<sup>9</sup> et le National Academies National Research Council (NRC)<sup>10</sup>. Malgré l'étendue de ces travaux antérieurs, il n'existe pas de facteurs ou de méthodes universellement approuvés pour déterminer la corrosivité du sol. Le groupe de travail technique de la NACE International (NACE) sur le « Contrôle de la corrosion des tuyaux en fonte ductile et en fonte »<sup>11</sup> a présenté la liste suivante des facteurs les plus fréquemment mentionnés pour la corrosion des tuyaux en fer enterrés :

1. Résistivité / conductivité ;
2. Alcalinité et pH ;
3. Type de sol et gradation ;
4. Activité microbiologique ;
5. Humidité ;
6. Environnements non homogènes ;
7. Modification des conditions de l'eau souterraine ;
8. Sels dissous (chlorures, sulfates, etc.) ;
9. Cendres et dépôts de carbone ; et
10. Impuretés chimiques

Romanoff<sup>9</sup> a comparé des études antérieures de NBS sur la fonte à des études ultérieures sur des tuyaux en fonte ductile et a rapporté que « le fer et la fonte ductile se corrodent à peu près au même rythme dans le même environnement de sol. » L'étude de Bonds établit également que « les résultats globaux indiquent que les taux de corrosion par piqûres de la fonte ductile par rapport aux tuyaux en fonte grise étaient spécifiques au sol, mais essentiellement identiques du point de vue statistique (tests t, fiabilité de 95 %). »<sup>12</sup> Sur la base de l'étude de NBS et de Bonds, le comité NRC<sup>10</sup> a également estimé que les taux de corrosion de la fonte et de la fonte ductile étaient similaires. Dans cet article, les taux de corrosion des tuyaux en fonte et des tuyaux en fonte ductile sont supposés identiques dans les mêmes conditions enfouies. Aux fins d'un débat dans cet article, le terme « tuyau en fer » comprend à la fois les tuyaux en fonte et les tuyaux en fonte ductile.

Contrairement au modèle de prévision de la corrosion en surface établi pour les métaux nus et les alliages de la norme ISO 9224, aucune cinétique de corrosion universellement approuvée n'a été établie pour les tuyaux en fer enterrés. Cela est dû au large éventail de conditions rencontrées, lesquelles peuvent changer avec le temps et ne sont pas définissables. Il existe cependant un certain nombre de systèmes d'évaluation des sols différents pour livrer des indications sur l'évaluation de la corrosivité du sol afin de déterminer si un contrôle de la corrosion s'avère nécessaire. Une méthode largement utilisée et généralement acceptée par l'industrie des tuyaux en fer est le système à 10 points, tel qu'énoncé à l'annexe A de la norme ANSI / AWWA C105 / A21.5 (1999).<sup>13</sup> Le tableau 1 présente les paramètres d'analyse du sol en 10 points, qui comprennent la résistivité du sol, le pH, le potentiel redox, les sulfides et l'humidité. Pour un échantillon de sol donné, chaque paramètre est évalué et des points sont attribués en fonction de sa contribution à la corrosivité. Les points pour les cinq caractéristiques du sol sont totalisés. Si la somme est égale ou supérieure à 10, le sol est considéré comme corrosif pour les tuyaux en fer et la corrosion risque de se produire pendant la durée de vie de la conduite à moins que des mesures de protection ne soient prises. Ce système à 10 points indique également que les sols suivants sont considérés comme potentiellement corrosifs pour les tuyaux en fer. Par conséquent, aucune évaluation n'est requise pour déterminer le besoin de protection contre la corrosion :

1. Charbon
2. Cendres
3. Fange
4. Tourbe
5. Déchets de mine
6. Décharges

Les installations existantes et le potentiel de corrosion par courant vagabond devraient également faire partie de l'évaluation. De plus, il est important de noter que ni la méthode à 10 points de l'AWWA C105 ni d'autres méthodes similaires ne permettent de quantifier efficacement la quantité de corrosion sur les tuyaux en fer. Par exemple, un sol à 20 points n'est pas nécessairement plus agressif qu'un sol à 12 points et, par conséquent, le sol à 20 points pourrait ne pas générer plus de corrosion sur les tuyaux en fer que le sol à 12 points. Szeliga et. al.,<sup>8</sup> dans leurs analyses de données provenant de fonctionnement de réseaux, ont confirmé que le système à 10 points n'était pas en corrélation avec le taux de corrosion réel sur les conduites en fonte ductile. Néanmoins, le système à 10 points aide à identifier les environnements de sol potentiellement corrosifs pour les tuyaux en fer.

Caractéristiques du sol	Points*
<b>Résistivité—<math>\Omega cm \dagger</math></b>	
<1500	10
≥1500 – 1800	8
>1800 – 2100	5
>2100 – 2500	2
>2500 – 3000	1
>3000	0
<b>pH</b>	
0 – 2	5
2 – 4	3
4 – 6,5	0
6,5 – 7,5	0‡
7,5 – 8,5	0
>8,5	3
<b>Potentiel redox—<math>mV</math></b>	
>+100	0
+50 – +100	3.5
0 – +50	4
Négatif	5
<b>Sulfures</b>	
Positif	3.5
Trace	2
Négatif	0
<b>Humidité</b>	
Mauvais drainage, continuellement humide	2
Drainage correct, généralement humide	1
Bon drainage, généralement sec	0

**REMARQUES :**

- \* 10 points : corrosif pour le tuyau en fer ; la protection est indiquée.
- † Basé sur un bac à sol saturé en eau. Cette méthode est conçue pour obtenir la lecture de résistivité la plus faible et la plus précise.
- ‡ Si des sulfures sont présents et que les résultats du potentiel redox sont faibles (<100 mV) ou négatifs, trois points doivent être donnés pour cette plage.

Tableau 1 : Évaluation du test de sol à 10 points selon AWWA C105/A21.5-10

Parmi toutes les études sur les canalisations en fer enterrées mentionnées ci-dessus, DIPRA dispose des données d'essais sur le terrain les plus complètes dans différents sols aux États-Unis. Sa base de données comprend plus de 60 000 entrées et inclut des recherches sur plus de 2000 spécimens et des inspections s'étalant sur une période de 75 ans. L'analyse statistique de Bonds<sup>6</sup> comporte un vaste sous-ensemble de données DIPRA, représentant plus de 300 environnements pédologiques. Le système de sol à 10 points, selon la norme AWWA C105, a été utilisé pour évaluer le potentiel de corrosion par rapport aux tuyaux en fer dans l'analyse de Bonds. La vitesse de piqure maximale moyenne rapportée correspond à environ 16,7  $\mu m$  (0,66 mil) pour les tuyaux en fer fabriqués en usine (revêtus d'asphalte) dans des conditions de sols inférieures à 10 points (non agressifs). Bien que les cinétiques de corrosion soient connues pour être non linéaires, les taux de corrosion diminuant avec le temps,<sup>14</sup> la plupart des taux de corrosion souterrains sont supposés être constants dans le temps pour des raisons de simplicité et de conservatisme. En utilisant le taux de corrosion linéaire de 16,7  $\mu m$ /an à partir de l'analyse de Bonds, la ligne orange de la figure 6 montre la prévision de corrosion en termes de perte d'épaisseur totale des boulons en acier revêtus de fluoropolymère de *Victaulic* après exposition prolongée à un environnement de sol <10 points.

La zone présentant le plus grand intérêt pour l'analyse de la corrosion des raccords mécaniques revêtus de fluoropolymère de *Victaulic* est considérée comme la partie filetée exposée du boulon sous l'écrou. En cas d'attaque de corrosion à cet endroit, la corrosion entraîne une réduction du diamètre de la tige du boulon. La durée de vie du boulon est dépassée lorsque les contraintes combinées du couple de serrage et de la pression de service dépassent la limite d'élasticité minimale du boulon. Dans cette analyse, en utilisant la limite d'élasticité minimale de la visserie revêtue de fluoropolymère de *Victaulic* sur le tuyau en PEHD compatible le plus épais à la pression de service maximale, la conception du produit *Victaulic* styles 904, 905, 907, W907 et 908 permettrait une réduction de la tige de boulon

allant jusqu'à 1191,3 µm (46,9 mil) en termes de perte d'épaisseur, elle est représentée par la ligne verte de la figure 6. En comparant la réduction admissible de la tige de boulon à la perte d'épaisseur générée par les environnements d'essais, la visserie revêtue de fluoropolymère de Victaulic aura une durée de vie de plus de 50 ans dans les environnements de sol C5-M et <10 points.

## Contrôle de la corrosion :

En raison de la complexité de la corrosion souterraine, il est difficile de déterminer le niveau de contrôle de la corrosion nécessaire (le cas échéant) pour des conditions de sol spécifiques pour une performance à long terme. La protection anticorrosion des produits Victaulic peut s'envisager pour une ou plusieurs des raisons suivantes :

1. Prolongation de la durée de vie pour sol non agressif <10 points pendant plus de 50 ans de service
2. Conditions de sol agressives > 10 points
3. Absence de données d'étude du sol
4. « Environnements corrosifs connus » tels que le charbon, les cendres, la vase, la tourbe et les décharges, selon l'annexe A de la norme ANSI/AWWA C105/A21.2
5. Potentiel de corrosion des installations existantes dans les mêmes conditions du sol
6. Comme spécifié par l'utilisateur final/l'application

Si le contrôle de la corrosion est jugé nécessaire, plusieurs options de contrôle de la corrosion acceptées par l'industrie sont disponibles pour les colliers et/ou les visseries styles 905, 907 et 908. Elles comprennent, sans s'y limiter, les éléments suivants :

- Visseries en acier inoxydable 316 conformes à la norme ASTM F593 Groupe 2 (sols non agressifs pour les matériaux en acier inoxydable 316)
- AWWA C105<sup>13</sup> manchette en polyéthylène
- AWWA C210<sup>15</sup> Revêtements époxy liquides
- AWWA C213<sup>16</sup> Revêtements époxy à liaison par fusion
- AWWA C214<sup>17</sup> Revêtements en bande
- AWWA C216<sup>18</sup> Thermorétractable
- AWWA C217<sup>19</sup> Ruban de pétrole et de cire de pétrole
- Anodes sacrificielles pour assurer une protection cathodique selon AWWA M2720

## Conclusion :

Les raccords mécaniques *Victaulic* styles 905, 907 et 908 pour l'assemblage de tubes en polyéthylène haute densité (PEHD) sont appropriés pour un enfouissement direct. Selon les normes reconnues dans l'industrie, les colliers style 904, 905, 907, W907 et 908 « prêts à l'emploi » de *Victaulic* disposant d'une visserie revêtue de fluoropolymère auront une durée de vie sensiblement supérieure à 50 ans dans les sols <10 points, selon l'AWWA C105. Dans des conditions de sol plus agressives, des moyens supplémentaires de contrôle de la corrosion sont disponibles pour prolonger la durée de vie du produit.

## Références :

1. S. Coburn, Atmospheric Corrosion in Metals Handbook, 9e éd., Vol. 1. Properties and Selection, Carbon Steels, American Society for Metals. Metal Park, Ohio (1978), p. 720.
2. ISO 12944-2, Peintures et vernis - Protection des structures en acier contre la corrosion par les systèmes de peinture protectrice - 2e partie : Classification des environnements.
3. ISO 12944-6, Peintures et vernis - Protection des structures en acier contre la corrosion par les systèmes de peinture de protection - 6e partie : Méthodes d'essai de performance de laboratoire.

4. ISO 9223, Corrosion des alliages métalliques - Corrosivité des atmosphères - Classification, détermination et estimation.
5. ISO 9224, Corrosion des alliages métalliques - Corrosivité des atmosphères - Valeurs directrices pour les catégories de corrosivité.
6. R.W. Bonds, M. Barnard, AM. Horton, G.L. Oliver, "Corrosion and Corrosion Control of Iron Pipe – 75 Years of Research," *Journal AWWA* 97, 6 (2005) : P. 88.
7. R. Wakelin, R.A. Gummow, « A Summary of the Findings of Recent Watermain Corrosion Studies in Ontario, » presented at International Symposium of Materials Performance Maintenance, Ottawa, Ontario (Westmount, Quebec : The Metallurgical Society of CIM, 1991).
8. M. Szeliga, « Analysis of Ductile Iron Corrosion Data from Operating Mains and Its Significance, » presentation at ASCE Pipelines, Advances and Experiences with Trenchless Pipeline Projects Conference, Boston, MA, 2007
9. M. Romanoff, "Performance of Ductile-Iron in Soils," *Journal AWWA* 60, 6 (1968) : PP. 645-655.
10. "Review of the Bureau of Reclamation's Corrosion Prevention Standards for Ductile Iron Pipe," National Research Council of the National Academies (Washington, DC : The National Academics Press, January 2009).
11. « Corrosion and Corrosion Control for Buried Cast- and Ductile-Iron Pipe, » NACE International Publication 10A292 (2013).
12. R.W. Bonds, A.M. Horton, G.L. Oliver, L.M. Barnard, « Corrosion Control Statistical Analysis of Iron Pipe, » *MP* 44, 1 (2005): p. 30.
13. ANSI/AWWA C105/A21.5, Enveloppe de polyéthylène pour les systèmes de tuyaux en fonte ductile.
14. A.G. Fuller "Soil Corrosion Resistance of Gray and Ductile Iron Pipe – A Review of Available Information, British Cast Iron Research Assn. Rpt. 1073, Alvechurch, Great Britain (1972).
15. AWWA C210 concernant les systèmes avec couche de résine époxyde à l'intérieur et à l'extérieur des conduites d'eau en acier.
16. AWWA C213, Revêtement époxy à liaison par fusion pour l'intérieur et l'extérieur des conduites d'eau en acier.
17. AWWA C214, Revêtements en bande pour les conduites d'eau en acier.
18. AWWA C216, revêtements polyoléfiniques réticulables thermorétractables pour conduites d'eau et raccords en acier.
19. AWWA C217, systèmes de revêtement en bande de cire et de petrolatum microcristallins pour tuyaux et raccords d'eau en acier
20. AWWA M27, Contrôle de la corrosion externe pour la durabilité des infrastructures