



Association de recherche sur
les tuyaux en fonte ductile

Résistance et **durabilité** pour la **vie**^{MD}

CONTRÔLE DE LA CORROSION

Revêtements intérieurs en mortier de ciment pour tuyaux de fonte ductile

par Richard W. Bonds, P.E.



Dernière révision:
mars 2017

Historique

LES PREMIERS TUYAUX D'AQUEDUC EN FONTE (fonte grise) ne comportent ni enduits extérieurs ni revêtements intérieurs, mais ils étaient installés dans l'état où ils se trouvaient à la sortie du moule après nettoyage. Après plusieurs années, il est devenu évident que l'intérieur du tuyau pouvait être affecté par certains types d'eau. On a alors proposé d'utiliser des revêtements bitumineux, et la plupart des tuyaux de fonte grise vendus pour des réseaux d'aqueduc après 1860, environ, comportaient des revêtements intérieur et extérieur bitumineux.

Dans ces réseaux où l'eau était relativement dure et légèrement alcaline, les revêtements intérieurs bitumineux étaient généralement satisfaisants. Cependant, lorsque l'eau était douce et/ou acide, on rencontrait des problèmes comme de l'eau devenant rouge ou rouillée et une diminution graduelle du débit dans le tuyau. L'eau agressive pénétrait dans les piqûres de l'enduit et de la tuberculisation s'ensuivait. La nécessité d'obtenir un meilleur revêtement intérieur pour combattre la tuberculisation a mené à des expériences et des recherches considérant les mortiers de ciment comme revêtement intérieur.

En 1922, le premier tuyau de fonte grise à revêtement intérieur en ciment a été installé dans un réseau de distribution d'eau à Charleston, en Caroline du Sud. Le revêtement intérieur était appliqué au moyen d'un projectile tiré au travers du tuyau. Des essais de débit par friction menés en 1999 montrent que ces tuyaux de fonte grise originaux à revêtement intérieur en ciment ont conservé un coefficient Hazen-Williams (valeur « C ») de 130.

Depuis 1922, plusieurs améliorations ont été apportées à la production de tuyaux de fonte à revêtement intérieur en ciment. Les tuyaux à revêtement intérieur en mortier de ciment sont revêtus par centrifugation à l'usine pour veiller à ce que le meilleur contrôle de la qualité possible soit maintenu et qu'une épaisseur uniforme de

mortier soit répartie sur toute la longueur du tuyau. Les revêtements en ciment empêchent la tuberculisation en créant un pH élevé à la paroi du tuyau, et finalement en offrant une barrière physique à l'eau. Les revêtements intérieurs en ciment sont aussi lisses, ce qui occasionne des coefficients de débit élevé. Le tuyau de fonte ductile aujourd'hui installé dans les systèmes d'aqueduc est fourni avec revêtement intérieur en mortier de ciment à moins d'indications contraires de la part de l'acheteur. Pour ce qui est des tuyaux de fonte grise existants sans revêtement intérieur, il est possible de procéder au nettoyage et à l'application du revêtement intérieur sur place et économiquement faisable de le faire pour restaurer la capacité hydraulique.

Élaboration de normes

De 1922 à 1929, plusieurs installations ont été réalisées selon divers devis de fabricants. En 1929, le Comité de division A21 de l'ASA portant sur le tuyau de fonte a émis une norme provisoire pour les revêtements intérieurs en mortier en ciment. Cette norme a été publiée par l'AWWA comme norme provisoire en 1932. Après diverses révisions et améliorations, elle a été officiellement adoptée par l'ASA en 1939 sous la désignation A21.4 (AWWA C104) « Specifications for Cement-Mortar Lining for Cast Iron Pipe and Fittings » Entre autres choses, la norme prescrivait que le ciment à utiliser soit du ciment de Portland, désignation C-9 de l'ASTM.

Au cours de la période de 1940 à 1952, de nombreuses recherches ont été effectuées sur divers types de ciment, méthodes de fabrication, et méthodes de séchage du mortier de ciment pour améliorer la qualité des revêtements intérieurs de mortier de ciment. Conséquemment, une édition révisée de la norme de 1939 a été approuvée et émise en 1953.

Le procédé de centrifugation pour l'application du revêtement intérieur a été amélioré entre 1940 et 1952 de façon à donner les méthodes de contrôle et les techniques nécessaires pour assurer une épaisseur uniforme sur toute la longueur du tuyau.

expérimentales à revêtement intérieur en mortier de ciment de 1/32 po à 1/4 po d'épaisseur, sur des essais sur place menés sur des revêtements de cette épaisseur en service depuis plus de 30 ans, et sur l'assurance de l'uniformité de l'épaisseur dû à des améliorations du processus d'application par centrifugation du revêtement intérieur. Depuis lors, la durée de vie en service d'innombrables autres installations a démontré l'efficacité du revêtement intérieur en mortier de ciment de ces épaisseurs. La révision de 1964 exigeait aussi que le ciment respecte les exigences de la norme ASTM C150, « Specification for Portland Cement. »



Il y a deux méthodes d'application du revêtement intérieur en ciment dans les tuyaux de fonte ductile. Dans la méthode par projection, illustrée ici, le mortier est vaporisé sur la paroi du tuyau par une tête à révolution rapide insérée dans le centre d'un tuyau stationnaire. Par la suite, on fait tourner le tuyau lentement et on le fait vibrer pour lisser le revêtement intérieur.

Une autre révision importante figurant dans l'édition de 1953 était la reconnaissance de la capacité de l'enduit scellant d'assurer un séchage contrôlé du mortier. L'utilisation de cette méthode a été autorisée en tant que substitut au processus de cure en milieu humide.

Une troisième édition révisée a été approuvée et émise en 1964. La norme de 1964 a réduit l'épaisseur minimale permise du revêtement intérieur. La réduction était basée sur plus de 20 ans d'études menés par le Cast Iron Pipe Research Association (CIPRA) portant sur des canalisations

La révision de 1971 a incorporé un essai standard de toxicité du matériau formant l'enduit scellant. Dans la révision de 1974, des modifications importantes ont été apportées à la section visant la qualité du revêtement intérieur. La révision de 1980, qui comprenait les conversions métriques de toutes les dimensions et exigences matérielles, comportait aussi la méthode par projection comme méthode permise d'application du revêtement intérieur des tuyaux et raccords. Il n'y a pas eu de révision majeure dans les éditions de 1985 et 1990.

La révision de 1995 a élargi la section visant le ciment pour inclure des types de ciment autres que le ciment de Portland, a étendu la gamme des diamètres pour inclure les tuyaux de 3 pouces à 64 pouces, a laissé au fabricant le choix de fournir le revêtement intérieur en mortier de ciment avec ou sans enduit scellant à moins d'indications contraires.

La révision de 2003 a supprimé l'exigence voulant que l'épaisseur du mortier de ciment soit mesurée quand le mortier est humide.

Enduits scellants

L'utilisation d'un enduit scellant a d'abord été introduite dans la version 1953 de la norme ANSI/AWWA C104/ A21.4. Des recherches menées par le Cast Iron Pipe Research Association (CIPRA) de 1940 à 1952 ont montré qu'une mince couche de peinture, appliquée sur le revêtement intérieur en mortier de ciment nouvellement mis en place, réduirait grandement la perte d'humidité durant l'hydratation, résultant en une cure contrôlée du mortier. Ainsi, cette méthode a été admise comme solution de rechange au processus de cure par voie humide. L'expérience a par la suite montré que l'enduit scellant offrait aussi alors un avantage secondaire en tant que revêtement barrière, il contribuait à retarder le lessivage du ciment par des eaux douces, agressives.

De 1953 à 1995, la norme ANSI/AWWA C104/A21.4 a exigé que le revêtement intérieur en mortier de ciment soit recouvert d'un enduit scellant à moins d'indications contraires. La version 1995 de la norme, cependant, a été révisée pour laisser au fabricant le choix de fournir un revêtement intérieur en mortier de ciment avec ou sans enduit scellant à moins d'indications contraires.

Une des principales raisons justifiant le changement était de réduire au minimum l'utilisation d'un enduit scellant et par le fait même contribuer à réduire la pollution de l'air. L'enduit scellant utilisé pour les tuyaux et les raccords de fonte ductile est une peinture à base de solvant qui renferme des composés organiques volatiles (COV). Cela n'est pas préoccupant du point de vue des effets sur la santé associés aux composantes de l'enduit scellant en contact avec l'eau potable. Toutes les composantes de l'enduit scellant présentement utilisé dans les tuyaux et raccords de fonte ductile

ont été testées et certifiées conformes à la norme ANSI/NSF 61 « Drinking Water System Components – Health Effects ». Cependant, les émissions de COV en cours d'application et de séchage de l'enduit scellant sont une préoccupation. Le « Clean Air Act » a émis des restrictions sévères au sujet de l'émission de nombreux polluants atmosphériques, incluant les COV. À la lumière de cela, les fabricants et utilisateurs de revêtements développent continuellement des revêtements de rechange qui contiennent peu ou pas de COV. En tenant compte des alternatives offertes, de même que du fait qu'il existe d'autres techniques de fabrication pour faire sécher le mortier, on a adopté l'option d'éliminer l'enduit scellant.

De plus, l'application d'un enduit scellant sur les revêtements intérieurs en mortier de ciment dans les tuyaux et raccords en fonte ductile est une pratique qui est un peu unique aux États-Unis. Ailleurs, dans le monde, les tuyaux et raccords en fonte ductile avec revêtements intérieurs en ciment sont fournis sans enduit scellant. Seuls quelques endroits au pays ont des eaux suffisamment agressives pour justifier l'utilisation d'un enduit scellant. Dans ces quelques endroits, les lessivats provenant du revêtement intérieur en ciment non revêtu peuvent occasionner une hausse indésirable du pH de l'eau particulièrement sous faible débit dans des tuyaux de petit diamètre. C'est pour cette raison qu'on a conservé l'enduit scellant comme exigence facultative dans la norme.

L'examen de nombreux revêtements intérieurs en ciment après plusieurs années de service avec divers types d'eau montre que des caractéristiques de débit élevées ont été maintenues dans les deux cas, soit le revêtement intérieur avec ou sans enduit scellant.

Les revêtements intérieurs en mortier de ciment sont généralement acceptables pour des températures de service allant jusqu'au point d'ébullition de l'eau, toutefois, en raison du point de ramollissement de l'enduit scellant, les températures de service pour les revêtements intérieurs portant un enduit scellant ne doivent pas dépasser 150°F. Ces limites de température sont prévues pour servir de lignes directrices générales et pourraient ne pas s'appliquer dans toutes les conditions. Si on prévoit des températures de service plus élevées, il faut consulter le fabricant pour connaître ses recommandations spécifiques.

Application des revêtements intérieurs

Les procédés d'application des revêtements intérieurs en mortier de ciment par centrifugation ou projection sont tous les deux utilisés à l'heure actuelle. Le fait d'utiliser ces méthodes permet de conserver un excellent contrôle de la qualité du mortier de ciment et du procédé d'application. Les revêtements intérieurs produits sont lisses,



On voit ici des tuyaux de fonte ductile sans enduit scellant prêts pour livraison. L'élimination de l'enduit scellant est maintenant au choix du fabricant, à moins d'indications contraires.

uniformes et répondent aux exigences strictes de la norme ANSI/AWWA C104/A21.4, « Cement-Mortar Lining for Ductile Iron Pipe and Fittings. » L'épaisseur des revêtements intérieurs pour le tuyau et les raccords, selon cette norme, ne doit pas être inférieure à 1/16 pouce pour les tuyaux de 3 à 12 pouces; à 3/32 pouce pour les tuyaux de 14 à 24 pouces; et de 1/8 pouce pour les tuyaux de 30 à 64 pouces. Des revêtements double épaisseur soit mesurant deux fois les épaisseurs précisées ci-dessus peuvent être fournis si précisés par l'acheteur sur le bon de commande.

Le procédé d'application du mortier par centrifugation à l'intérieur d'un tuyau de fonte ductile consiste en la distribution uniforme du mortier sur toute la longueur du tuyau grâce à une lance mobile placée dans le tuyau qui tourne à une vitesse relativement basse. La méthode par projection consiste en la vaporisation ou le lançage de mortier uniformément sur la paroi du tuyau au moyen d'une tête mobile tournante insérée au centre du tuyau stationnaire.

Une fois que le mortier est appliqué par une des méthodes ci-dessus, il peut être lissé et compacté par une des deux méthodes ci-après, selon le diamètre du tuyau et l'équipement utilisé. Le tuyau peut être tourné à une vitesse élevée accompagnée d'une vibration afin de produire un revêtement dense qui adhère bien à la paroi du tuyau. La révolution à haute vitesse amène l'eau et les fines particules de ciment à la surface du revêtement qu'il faut ensuite laver pour les retirer. Inversement, le tuyau peut révolutionner à basse vitesse et être aussi soumis à une vibration qui permet de lisser et compacter le revêtement intérieur. Cette vitesse de révolution n'est pas suffisante pour ramener le surplus d'eau et les fines particules de ciment à la surface; de sorte qu'il n'est pas nécessaire de laver le revêtement intérieur comme c'est le cas du procédé centrifuge à haute vitesse.

Les revêtements intérieurs produits par chacune de ces méthodes sont denses, lisses, et offrent une très faible résistance de frottement en rapport avec le débit d'eau. Le revêtement intérieur est appliqué par projection ou à la main dans les raccords.

Afin d'assurer la cure appropriée des revêtements intérieurs en ciment dans les tuyaux en évitant que le taux d'humidité du mortier ne baisse trop rapidement, le revêtement intérieur peut (a) être entreposé sous atmosphère humide pour une certaine période (b) être placé dans un « tunnel de cure » sous haute température pour en accélérer la cure, ou (c) être revêtu immédiatement d'un enduit scellant. L'adhérence du revêtement intérieur en ciment à la paroi du tuyau est telle que le tuyau peut être coupé et percé sans que l'on doive se préoccuper d'endommager le revêtement.

Propriétés des revêtements intérieurs en ciment

Les propriétés de protection des revêtements intérieurs en ciment sont dues à deux propriétés du ciment. La première est la réaction chimique alcaline du ciment et la seconde la réduction graduelle de la quantité d'eau en contact avec la fonte. Lorsqu'un tuyau à revêtement intérieur en ciment est rempli d'eau, l'eau filtre au travers des pores du revêtement, libérant ainsi une grande quantité d'hydrate de calcium. L'hydrate de calcium réagit avec le bicarbonate de calcium contenu dans l'eau pour précipiter le carbonate de calcium, qui tend à boucher les pores du mortier et empêcher le

passage ultérieur de l'eau. La première eau qui entre en contact avec la fonte en traversant le revêtement intérieur dissout un peu de fonte, mais la chaux libre tend à précipiter la fonte sous forme d'hydroxyde de fer, qui ferme également les pores du ciment. Les sulfates sont aussi précipités sous forme de sulfates de calcium. Par ces réactions, le revêtement intérieur offre une barrière physique et chimique à l'eau corrosive.¹

Réparation autogène

Des fissures et la perte d'adhérence du revêtement intérieur dans les tuyaux et les raccords ont parfois été détectées avant l'installation. Ces situations peuvent se produire en raison du retrait des revêtements intérieurs, des variations de température et d'une mauvaise manutention. Dans certains cas, on s'est inquiété à savoir si le revêtement assurerait bien la protection pour laquelle il avait été prévu ou s'il pourrait être délogé par l'écoulement d'eau. Aucune de ces préoccupations n'est justifiée. Les essais menés par Wagner et signalés dans l'article publié dans le Journal de l'AWWA de juin 1974 montrent que les fissures dans le revêtement, formées en cours d'entreposage, se répareraient d'elles-mêmes une fois en contact avec de l'eau qui s'écoule ou non.² Des revêtements intérieurs en mortier de ciment ont été appliqués dans des tuyaux de fonte grise et de fonte ductile depuis plus de 82 ans. DIPRA n'a pas eu connaissance d'un problème de rendement suite à des fissures ou des revêtements en mortier de ciment lâche, pourvu que le revêtement ait été intact avant la mise en service de la canalisation.

Des fissures dans les revêtements intérieurs en ciment sont généralement de deux types. Le premier consiste en des craquelures superficielles se présentant sous la forme d'une grille ou d'un réseau de microfissures capillaires. Ces craquelures superficielles ne se produisent que dans le sable fin et les particules de ciment qui couvrent la couche homogène du mortier dense. Cette couche extérieure est la première exposée à l'hydratation et par conséquent, peut former un réseau de fines fissures superficielles. Ces fissures capillaires n'affectent que la surface et ne sont pas nuisibles à la durabilité à l'usage du revêtement intérieur. La norme ANSI/A\WVA C104/A21.4 autorise ce type de fissures sans limite. L'autre type de fissures est une

fissure circonférentielle ou longitudinale. La fissure circonférentielle peut faire le tour complet du tuyau et entraîner un léger décollement du revêtement intérieur. Bien que la norme permette des fissures circonférentielles de n'importe quelle longueur, elle impose une limite pour les fissures longitudinales. La norme permet des zones où le mortier de ciment est plus lâche tant et aussi longtemps que le revêtement intérieur est intact.

Lorsqu'un tuyau avec revêtement intérieur en mortier de ciment est mis en service, et rempli d'eau, une partie de l'eau est absorbée par le revêtement. L'eau est absorbée, non seulement par les pores et les vides du mortier, mais aussi par les canaux capillaires du gel de silicate de calcium. Le résultat final de cette absorption d'eau est que le revêtement intérieur gonfle pour atteindre environ son volume initial. Ainsi, le revêtement revient en contact serré avec la paroi du tuyau et les fissures dans le revêtement se ferment. Puisque ce gonflement se fait relativement lentement, cela peut prendre plusieurs semaines pour que le revêtement ne revienne entièrement à son volume initial.

Non seulement les fissures vont se fermer, et le revêtement devenir plus serré, après une période d'exposition à l'eau, mais aussi le ciment referra corps à nouveau. Cette situation se produit grâce à un processus appelé la réparation autogène, un phénomène connu depuis longtemps par l'industrie du béton, qui se produit suite à la formation de carbonate de calcium et l'hydratation continue des grains de ciment contenus dans le revêtement intérieur. Toutes les fissures qui pourraient rester légèrement ouvertes en raison d'un gonflement inadéquat sont par la suite fermées grâce à la formation de carbonate de calcium.

Réparation sur le chantier des revêtements intérieurs en ciment

Les revêtements intérieurs en ciment peuvent supporter une manutention normale; néanmoins, il peut parfois arriver que les revêtements intérieurs des tuyaux et raccords soient endommagés et doivent être réparés avant d'être mis en service.

La norme ANSI/A\WVA C104/A21.4 prévoit que les revêtements intérieurs endommagés puissent être réparés, et recommande la procédure de réparation suivante:

1. Découper la partie du revêtement endommagée jusqu'au métal de sorte que les bords du revêtement qui reste en place soient perpendiculaires ou légèrement biseautés.
2. Nettoyer la partie endommagée et le revêtement connexe.
3. Préparer un mortier rigide à partir d'un mélange de ciment, de sable et d'eau. Le mortier de ciment doit au moins contenir 1 partie de ciment et 2 parties de sable, par volume. (L'expérience pratique a démontré qu'un rapport un/un de ciment et de sable donnent d'excellents résultats.)
4. Bien mouiller la zone découpée et le revêtement environnant.
5. Appliquer le mortier et le lisser à la truelle à égalité avec le revêtement environnant.
6. Il faut maintenir la partie réparée humide en fixant un canevas ou de la jute humide sur les extrémités du tuyau ou du raccord pendant au moins 24 heures. (Si la surface réparée est de petite taille, elle peut être recouverte d'un chiffon humide.) Comme solution de rechange, la surface réparée peut être revêtue d'un enduit scellant du type cut-back. Elle peut être appliquée par vaporisation ou au pinceau sur la surface dans les 5 à 30 minutes qui suivent l'application du mortier.

La période de cure du mortier utilisé pour la réparation est importante pour obtenir un mortier bien hydraté qui sera dur et durable. Si la zone réparée subit une perte d'humidité trop rapide en raison du temps chaud ou des vents élevés, la cure appropriée sera d'autant retardée. Par temps froid, la zone réparée doit être protégée contre le gel.

Comportement en flexion

Des essais d'effort de flexion annulaire ont été exécutés sur des tuyaux à revêtements intérieurs en mortier de ciment, pleine longueur, pour en vérifier le comportement sous des charges de remblai.³ Ces essais ont révélé que le bris du mortier de ciment et l'écaillage qui s'ensuit se sont produits sur les côtés du tuyau (en des endroits situés à 3h et à 9h.) en raison de la compression avec déflexion de l'ordre de 6 à 12 pour cent par rapport au diamètre initial. La norme ANSI/AWWA C150/A21.50 (« Thickness Design of Ductile Iron Pipe ») a limité la déflexion maximale permise de la section annulaire du tuyau à 3 pour cent. Ce qui résulte en un facteur de sécurité d'au moins 2, et parfois même jusqu'à 4.

Résistance à l'abrasion

Les paramètres qui composent le phénomène d'abrasion comprennent la vitesse d'écoulement; la teneur en particules solides; la taille, la forme et la dureté des particules; le type d'écoulement (turbulent ou laminaire); la rugosité et la dureté de la surface du revêtement intérieur; et le nombre de raccords au mille. Bien que l'influence relative de ces facteurs puisse être évaluée d'une façon raisonnable, il n'existe aucune équation connue capable de prédire la résistance à l'abrasion des différents matériaux de fabrication des tuyaux dans diverses situations. Inévitablement, l'abrasion se produira aux changements de direction avant de se produire le long du fût du tuyau.

Les caractéristiques abrasives de l'eau potable sont minimales puisque ce type d'eau renferme des quantités limitées de solides et s'écoule habituellement à une vitesse de 2 à 10 pi/s. Les tuyaux à revêtements intérieurs en mortier de ciment, utilisés dans des réseaux d'eau potable depuis plus de 82 ans, ne montrent aucun signe d'abrasion interne. En l'absence d'essais à long terme en laboratoire, les documents disponibles précisent des rendements satisfaisants dans le cas de revêtements intérieurs en ciment/mortier de ciment pour des réseaux d'eau potable à vitesse d'écoulement de 20 à 40 pi/s. Toutefois, il faut tenir compte du fait que toutes les installations sont différentes. Diverses installations auront des configurations, angles de courbure, caractéristiques de débit différentes et diverses teneurs en solides et formes de solides, etc. Si on prend une vitesse de 20 pi/s et qu'on applique un facteur de sécurité de 2, en se rappelant que l'énergie cinétique d'une particule est fonction du carré de la vitesse, cela résultera en une vitesse de 14 pi/s. Cela devrait normalement constituer une vitesse nominale maximale conservatrice en service continu pour la plupart des applications. Veuillez communiquer avec les compagnies membres de DIPRA lorsqu'on prévoit des vitesses supérieures à 14 pi/s.


La résistance à l'abrasion des revêtements intérieurs en mortier de ciment est plus importante dans les réseaux de drainage et d'égout dans lesquels on retrouve des particules solides. Dans ces applications, la taille, la forme et la dureté des particules auront une grande influence sur le taux d'abrasion. Une fois de plus, les tuyaux à revêtements intérieurs en mortier de ciment ont un rendement satisfaisant dans ce type de service.

Résistance aux eaux douces et acides

L'eau transporte des quantités variables de divers ions ce qui résulte en la dissociation des sels solubles présents dans les sols. Les eaux qui ont une très faible teneur en ions sont agressives par rapport aux hydroxydes de calcium contenus dans les ciments hydratés en raison de la faible teneur de l'eau en carbonates et bicarbonates. Les eaux douces peuvent aussi présenter des caractéristiques acides en raison de la présence de CO_2 libre.

Lorsque les revêtements intérieurs en mortier de ciment sont soumis à des eaux très douces, l'hydroxyde de calcium $\text{CA}(\text{OH})_2$ est lessivé. La concentration en lessivats augmente en fonction de l'agressivité de l'eau et de sa dureté résiduelle

L'enduit scellant retardera le lessivage et les attaques en grande partie; cependant, comme nous l'avons déjà mentionné, il n'existe que très peu d'endroits dans ce pays où les eaux sont suffisamment agressives pour nécessiter l'utilisation d'un enduit scellant. De plus, de telles eaux agressives peuvent entraîner le lessivage de métaux toxiques de la tuyauterie aux maisons privées, rendant difficile la mise en application de normes de qualité de l'eau nécessitant des essais de première main aux robinets du consommateur. Par conséquent, les normes de qualité de l'eau qui exigent une chimie de l'eau équilibrée pourraient pousser ces quelques communautés à traiter leur eau, et ainsi réduire le recours à un enduit scellant.



Le tuyau de fonte ductile à revêtement intérieur en mortier de ciment a un coefficient « C » Hazen-Williams de 140, une valeur réaliste qui est conservée avec le temps.

dans le tuyau et est inversement proportionnelle au diamètre du tuyau. Ces eaux s'attaqueront aussi aux hydrates de silicate de calcium, qui forment la plus grande partie des hydrates du ciment. Bien que les hydrates de silicate de calcium soient presque insolubles, les eaux douces peuvent les hydrolyser progressivement en gel de silice, résultant en une surface molle ayant une résistance mécanique réduite.

Nous encourageons les services d'utilités publiques ou les municipalités qui s'inquiètent du fait que leur eau puisse être agressive pour les revêtements intérieurs en ciment s'il n'y a pas d'enduit scellant à respecter la marche à suivre précisée dans la Section IIA « Use of Seal-Coat », de la préface de la norme ANSI/AWWA C104/A21.4 intitulée « Standard to determine if a cement-mortar lining, without seal-coat, will impart objectional hardness or alkalinity to the water ».

DIPRA n'a pas entendu parlé d'aucun système de distribution d'eau potable aux États-Unis pour lequel un tuyau de fonte ductile à revêtement intérieur en ciment n'était pas approprié. Les tuyaux de fonte ductile à revêtement intérieur en mortier de ciment sont généralement considérés appropriés à une utilisation continue à un pH entre 4 et 12 pour les revêtements recouverts d'un enduit scellant et entre 6 et 12 pour les revêtements sans cet enduit. Pour les installations dont le pH se situe hors de cette gamme, consultez les compagnies membres de DIPRA.

Résultat des essais d'écoulement sur des tuyaux de fonte grise et ductile à revêtement intérieur en ciment mortier

La perte de charge par frottement ou baisse de pression dans une canalisation est une préoccupation quotidienne pour l'ingénieur en réseaux d'aqueduc. Les calculs de perte de charge sont fondés sur des équations établies par des ingénieurs en hydraulique suite à de nombreux essais d'écoulement sur des canalisations d'aqueduc en service. Plusieurs formules ont été élaborées par Darcy, Chezy, Cutter, Manning, Hazen-Williams et autres. Parmi celles-ci, les formules et les tableaux préparés par Hazen-Williams se sont avérés les plus populaires.

Pour donner des résultats satisfaisants, un revêtement intérieur pour tuyaux doit assurer un coefficient de débit « C » Hazen-Williams élevé pour maintenir un coefficient de débit élevé après plusieurs années de service. À moins que le revêtement intérieur ne réponde aux exigences ci-dessus, ses autres propriétés, physiques ou chimiques, n'ont qu'une faible importance. Plusieurs essais d'écoulement ont été exécutés sur des canalisations en service à travers les États-Unis pour déterminer jusqu'à quel point les revêtements intérieurs en mortier de ciment respectaient ces exigences de base. Des essais faits sur des canalisations principales d'aqueduc, nouvelles et anciennes, ont permis d'établir une valeur « C » moyenne à laquelle on peut s'attendre dans le cas des tuyaux de fonte neufs revêtement intérieur en ciment. Cela a également fourni une mesure de l'efficacité continue de tels revêtements sur de longues périodes de service.

Le tableau 1 présente les résultats obtenus à partir d'un certain nombre d'essais de débit avec frottement faits sur des tuyaux de fonte avec revêtement intérieur en mortier de ciment, neufs ou relativement neufs. Le coefficient « C » moyen pour un tuyau neuf de 4 à 36 pouces de diamètre a été établi à 144.

Au cours des années, DIPRA a mené une série d'essais d'écoulement sur des tuyaux de fonte ductile et de fonte grise à revêtement intérieur en ciment sur des périodes prolongées de service dans des systèmes de distribution d'eau dans le pays. Le but de ces essais était d'établir si le revêtement intérieur en ciment continue d'assurer une protection contre la détérioration de la capacité hydraulique des tuyaux après des périodes variables de service et dans des conditions de qualité de l'eau variables.

Prenant pour acquis l'effet des inconnues dans l'exécution de tels essais sur des réseaux en exploitation (par exemple, raccords, branchements de service, et autres obstacles hydrauliques), les résultats des essais indiqués au Tableau 2 montrent que le revêtement intérieur en mortier de ciment est un moyen efficace de protéger les tuyaux de fonte grise et ductile contre les effets des eaux agressives. Même les tuyaux les plus vieux transportant les eaux les plus agressives continuent d'exhiber un coefficient « C » du même ordre que des tuyaux neufs à revêtement intérieur en ciment. Des résultats d'essais récents confirment de nouveau les conclusions de plusieurs séries de tests exécutés il y a 40 à 50 ans.

Coefficient d'écoulement dans un tuyau de fonte ductile à revêtement intérieur en mortier de ciment.

Pour un débit laminaire pleinement développé dans un tuyau, le frottement dépend du nombre de Reynolds (une fonction de la vitesse, du diamètre intérieur du tuyau et de la viscosité cinématique du fluide transporté). Il est intéressant de noter que la rugosité de la paroi du tuyau n'est pas prise en compte. La raison en est que pour le profil des vitesses du débit laminaire parabolique, une très faible partie du débit entre en contact avec les éléments rugueux de la paroi; les vitesses dans les environs de la paroi sont assez faibles. Lorsqu'un débit laminaire est présent, le fluide semble s'écouler en plusieurs couches superposées. En

raison de la viscosité du fluide, une contrainte de cisaillement est créée entre les couches du fluide. Le fluide perd de l'énergie en tentant de surmonter l'effort de frottement produit par la contrainte de cisaillement.

Pour ce qui est d'un écoulement turbulent dans des tuyaux circulaires, il existe une couche d'écoulement adjacente à la paroi du tuyau appelé film laminaire. Même dans les couches limites turbulentes, on retrouvera ce film là où les effets laminaires prédominent. Dans le cas d'un tuyau, plus grand est le numéro de Reynolds, plus mince est le film laminaire. On a déjà noté que la rugosité n'a pas d'effet sur la perte de charge dans le cas d'un écoulement laminaire. Si le film laminaire est plus épais que la rugosité de la paroi du tuyau, alors l'écoulement est libre du point de vue hydraulique et le tuyau a atteint la valeur ultime en matière d'efficacité hydraulique. Si cet écoulement était représenté sur le diagramme de Moody, il correspondrait à la courbe du « tuyau lisse ».

Peu de temps après l'introduction des revêtements intérieurs en mortier de ciment pour les tuyaux en fonte grise, des essais ont été menés dans le laboratoire hydraulique de l'Université de l'Illinois sur des tuyaux de fonte grise de 4, 6 et 8 pouces. Les coefficients Hazen-Williams ont été calculés pour chaque diamètre de tuyau et aux extrémités de la plage d'essai, soit 2 et 10 pieds/sec. Les résultats des essais ont révélé des coefficients Hazen-Williams de 150 à 157. En prenant ces résultats d'essais de laboratoire et en calculant le coefficient de frottement Darcy-Weisbach pour définir les points extrêmes de la plage d'essai et en les reportant sur le diagramme Moody, les points obtenus sont généralement conformes à la courbe des « tuyaux lisses ». Cela démontre que le revêtement intérieur en mortier de ciment appliqué par centrifugation, depuis sa première insertion sur le marché, a atteint la valeur ultime en matière d'efficacité hydraulique. Aucun tuyau « plus lisse » ne peut être produit. Pour suggérer qu'un tuyau « plus lisse » est offert, il faut sortir des limites de l'hydrodynamique moderne. Certaines personnes peuvent avoir eu de la difficulté à accepter ce fait car elles pensent en termes de lisse au toucher plutôt que lisse du point de vue hydraulique. Tant que la « rugosité » de la paroi du tuyau reste bien immergée dans le film laminaire, l'écoulement sera lisse du point de vue hydraulique.

DIPRA et son prédécesseur CIPRA, ont longtemps préconisé un coefficient « C » Hazen-Williams de 140 dans le cas des tuyaux de fonte grise et ductile à revêtement intérieur en ciment. Cette recommandation d'un coefficient « C » de 140 est approprié à des fins de calcul. Elle reconnaît le fait que le vrai monde des canalisations n'a qu'un lointain rapport avec la perfection des canalisations en laboratoire. De plus, les essais sur place menés en continu par DIPRA sur des canalisations en service ont démontré qu'un coefficient « C » de 140 était réaliste et qu'il peut être maintenu sur de longues périodes — même s'il s'agit de transport d'eau très agressives.

La répercussion d'un diamètre intérieur plus grand

Certains fabricants concurrents de tuyaux recommandent un coefficient Hazen-Williams de plus de 140 pour leurs produits. Tout ce que cela implique est évident — un matériau du concurrent créera une moins grande perte de charge que le tuyau de fonte ductile à revêtement intérieur en mortier de ciment. Rien n'est plus éloigné de la vérité.

Dans le cas de tous les diamètres normalement prescrits, le tuyau de fonte ductile à revêtement intérieur en mortier de ciment a un diamètre intérieur plus grand que le diamètre nominal du tuyau. Dans le cas de la plupart des autres matériaux de tuyaux, le diamètre intérieur est égal au, ou dans certains cas même inférieurs, au diamètre nominal du tuyau. La perte de charge relevée dans un réseau de canalisations est beaucoup plus sensible au diamètre intérieur disponible qu'aux coefficients d'écoulement normaux. Par exemple, 6 000 gal/min s'écoulant dans un tuyau de 24 po de diamètre, PVC DR 18 (en supposant un coefficient « C » de 150) développera une perte de charge supérieure de 37,6 pour cent à celle que l'on retrouve dans un tuyau de fonte ductile à revêtement intérieur en mortier de ciment de classe pression 200 (en supposant un coefficient « C » de 140).

Conclusion

Le tuyau de fonte ductile à revêtement intérieur en mortier de ciment a un dossier de service inégalé dans l'industrie d'adduction d'eau. Depuis sa première application sur place dans des tuyaux de fonte grise en 1922, le revêtement en mortier de ciment a subi de nombreuses améliorations du point de vue de la fabrication.

Aujourd'hui, le revêtement intérieur en mortier de ciment est appliqué soit par centrifugation soit par projection, ce qui permet de maintenir un excellent contrôle de la qualité du mortier de ciment et de l'opération d'application du revêtement. Les revêtements intérieurs appliqués par ces méthodes sont denses, lisses et offrent une très faible résistance de frottement à l'écoulement d'eau.

Le tuyau de fonte ductile à revêtement intérieur en mortier de ciment, assure un coefficient de débit Hazen-Williams ou un coefficient « C » de 140 — une valeur réaliste qui est maintenue tout au long de la durée de vie du tuyau. Ce revêtement standard, fourni selon la norme ANSI/AWWA C104/A21.4, continue d'assurer un service fiable, sans problèmes.

References

¹ Helton, B., « Cracks and looseness in Cement linings of Cast Iron and Ductile Iron Pipe and Fittings, » non publié.

² Wagner, E.E, Autogenous Healing of Cracks in Cement-Mortar Linings for Gray-Iron and Ductile-Iron Water Pipe, » Journal de l'AWWA, juin 1974.

³ Kennedy, Jr. H., « The New Ductile Iron Pipe Standards, » Journal de l'AWWA, novembre 1976.

TABLEAU 1

Essais d'écoulement dans les tuyaux de fonte grise et ductile à revêtement en mortier de ciment

Emplacement	Diamètre en pouces	Longueur en pieds	Âge Années	Hazen-Williams C
Alma, MO	6	23 800	1	137
Birmingham, AL	6	473	nouveau	147
Bowling Green, OH	20	45 600	1	143
Casper, WY	12	500	nouveau	141
Charleston, SC	6	300	nouveau	145
Chicago, IL	36	7 200	1	147
Cleveland, TN	20	31 400	2	144
Colorado Springs, CO	20	7 000	3	137
Concord, NH	14	500	nouveau	151
Copperas Cove, TX	8	28 100	1	144
Corder, MO	8	21 400	1	145
Corpus Christi, TX	36	74 000	nouveau	145
Fitchburg, MA	20	500	1	142
Gary, IN	20	8 000	1	140
Greensboro, NC	30	848	3	148
Hartford, CT	16	800	1	149
New Orleans, LA	12	37 300	1	141
Newton, IA	20	27 300	1	144
Safford, AZ	10	23 200	2	145
Simpsonville, SC	16	27 700	1	137
St. Louis, MO	30	17 700	nouveau	151
Univ. of Illinois	6	400	nouveau	151
Green Bay, WI	16	1 149	1	138

TABLEAU 2

Essais d'écoulement dans les tuyaux de fonte grise et ductile à revêtement en mortier de ciment après de longues périodes de service

Emplacement	Diamètre en pouces	Longueur en pieds	Âge Années	Hazen-Williams C
Baltimore, MD	12	909	18	136
Birmingham, AL	6	473	6	141
	6	473	14	138
	6	473	17	133
Catskill, NY	16	30 825	25	136
Champaign, IL	16	3 920	12	137
	16	3 920	22	139
	16	3 920	28	145
	16	3 920	36	130
Charleston, SC	6	300	12	146
	6	300	16	143
	8	300	51	131
	8	300	59	130
	8	300	77	130
	12	500	15	145
	12	500	25	136
Chicago, IL	36	7 200	12	151
Concord, NH	12	500	13	143
	12	500	29	140
	12	500	36	140
Danvers, MA	20	500	31	135
	20	500	38	133
Greenville, SC	30	87 400	13	148
	30	87 400	20	146
	30	50 700	19	148
	30	50 700	25	146
Greenville, TN	12	500	13	134
	12	500	29	137
	12	500	36	146
Knoxville, TN	10	500	16	134
	10	500	32	135
	10	500	39	138
Manchester, NH	12	550	5	142
	12	550	21	135
	12	1 955	45	133
Memphis, TN	10	1 070	31	135
Orange, CA	6	1 004	26	140
Safford, AZ	10	23 200	16	144
S. Burlington, VT	24	1 373	8	138
Seattle, WA	8	2 686	29	139
Tempe, AZ	6	1 235	24	144
Tacoma, WA	8	2 257	16	136
Wister, OK	18	3 344	30	139

Pour plus d'information, contactez DIPRA ou l'un de ses membres.

DIPRA

Une association de fabricants de tuyaux de fonte ductile qui s'engage à maintenir un programme de recherche continu et une offre de services aux professionnels en distribution d'eau potable et d'eaux usées, contribuant ainsi aux plus hautes normes de qualité.

P.O. Box 190306
Birmingham, AL 35219
Tél. 205 402.8700
www.dipra.org

Réseaux sociaux

Tenez-vous au courant des dernières actualités sur les tuyaux en fonte ductile en nous suivant sur Facebook, Twitter, et LinkedIn.

Visitez notre site Web à www.dipra.org/ **videos** et cliquez sur l'icône YouTube pour y trouver des vidéos d'information sur la simplicité d'emploi, la résistance et la durabilité, de même que sur les avantages des tuyaux en fonte ductile par rapport à ceux en PVC.



Membres

AMERICAN Ductile Iron Pipe
P.O. Box 2727
Birmingham, Alabama 35202-2727

Canada Pipe Company, Ltd.
55 Frid St. Unit #1
Hamilton, Ontario L8P 4M3 Canada

McWane Ductile
P.O. Box 6001
Coshocton, Ohio 43812-6001

United States Pipe and Foundry Company
Two Chase Corporate Drive
Suite 200
Birmingham, Alabama 35244

Le tuyau de fonte ductile  SMART certified