dipra

Association de recherche sur les tuyaux en fonte ductile

Résistance et **durabilité** pour la **vie**[MD]

COMPARAISON DES MATÉRIAUX

Tuyau en fonte ductile et tuyau en PVC

Dernière révision :
Janvier 2017

Les matériaux utilisés dans la fabrication des tuyaux ne sont pas tous équivalents. Les ingénieurs concepteurs doivent tenir compte de nombreux facteurs lors de la conception d'un réseau d'eau potable, comprenant le coût initial du système, les exigences d'exploitation, les frais de maintenance, la fiabilité et le rendement à long terme. Afin de leur faciliter la tâche, cette brochure comparera les caractéristiques structurales et de rendement des tuyaux en fonte ductile à ceux des tuyaux en polychlorure de vinyle (PVC) et fournira de l'information actualisée valide aux ingénieurs qui doivent choisir le type de matériaux à utiliser pour un réseau de conduites.

En plus de fournir des données de tests physiques comparant les deux types de tuyaux, la brochure comparera également les normes de conception de l'AWWA pour chaque tuyau, soit la norme ANSI/AWWA C150/A21.50[1] pour les tuyaux en fonte ductile, l'édition de 1997 et celle de 2007 de la norme ANSI/AWWA C900[2,3] pour les tuyaux en PVC de plus petit diamètre et la norme ANSI/AWWA C905[4] pour les tuyaux en PVC de grand diamètre.

Cette brochure questionnera également le fait que deux normes différentes existent pour un même matériau, soit le PVC, et cherchera à savoir pourquoi les facteurs de sécurité de l'édition 2007 de la norme C900 ont considérablement été réduits. Alors que les normes concernant les tuyaux en fonte ductile sont restées constantes pour toutes les tailles de tuyau, les normes C905 et C900-07 des tuyaux en PVC diffèrent considérablement de la norme C900-97. Les normes C905 et C900-07, par exemple, prévoient une paroi plus mince, des facteurs de sécurité considérablement réduits et aucune prise en compte de la surpression.

Enfin, cette brochure comparera les techniques d'installation et les aspects pratiques de l'utilisation des deux conduites de conception flexible. Les données suivantes proviennent de plusieurs sources, notamment des normes de l'AWWA, d'informations publiées par des fabricants et associations de fabricants de tuyaux et des essais physiques réalisés par les ingénieurs de recherche de DIPRA et de la Robert W. Hunt Company.[5]
En résumé, cette brochure présentera de l'information technique fiable qui prouvera que tous les matériaux utilisés dans la fabrication des tuyaux ne sont pas équivalents.

Pourquoi la révision 2007 de la norme C900 réduit-elle ses facteurs de sécurité à ceux de la norme C905?
Les ingénieurs concepteurs se demandent, et avec raison, pourquoi la révision de la norme C900 sur les tuyaux en PVC de petit diamètre comporte des changements majeurs en matière de conception et d'exigences d'essais. Par exemple, la révision 2007 de la norme AWWA C900 (PVC de 3 à 12 po de diamètre) et de la norme AWWA C905 (PVC de 14 à 48 po de diamètre) prévoit un facteur de sécurité de 2,0 pour le calcul de la pression interne, soit 20 % de moins que le facteur de sécurité de 2,5 qu'exigeait l'édition 1997 de la norme AWWA C900 (diamètre de 3 à 12 po). L'édition 2007 de la norme C900 fait référence de manière imprécise aux tuyaux par classes de pression plutôt que par la désignation correcte de capacité de pression nominale puisque les surpressions ne sont pas incluses. La norme C905 fait référence aux tuyaux en terme de pression nominale.

Selon un porte-parole de l'industrie du PVC, « la faiblesse du tuyau en PVC est sa résistance limitée aux surpressions ».[6] Là où la norme sur le PVC C900-97 tenait compte des surpressions, les normes C900-07 et C905 sur les tuyaux en PVC ne prévoient aucune considération pour les surpressions dans les calculs de pression nominale. Les calculs de pressions internes totales des normes C900-07 et C905 sont inférieurs à ceux de la norme C900-97. En ce qui concerne la norme C900-97, la base de calcul de la pression hydrostatique est la suivante : (BCH)/2,5 = pression de service + surpression. Pour les normes C900-07 et C905, la base (BCH)/2,0 = pression de service. Par conséquent, aucune allocation pour les surpressions n'a été prévue et les facteurs de sécurité sont considérablement réduits.

Comparaison de l'épaisseur de paroi du tuyau en PVC entre les normes C900-97, C900-07 et C905

L'un des moyens de constater le niveau inférieur de conception des tuyaux conformes aux normes C900-07 et C905 par rapport à celle de la norme C900-97 est de comparer l'épaisseur de paroi. L'équation de l'effort circonférentiel pour calculer l'épaisseur nette requise pour supporter la pression interne est la suivante :

$$t = \frac{PD}{2S}$$

où :
t = épaisseur nette (po)
P = pression interne de conception (lb/po^2)
D = diamètre du tuyau (po)
S = contrainte admissible (lb/po^2)

Par conséquent, l'épaisseur nette de la paroi du tuyau augmente à mesure que le diamètre augmente pour une pression de conception interne constante. Toutefois, un tuyau en PVC (C900-97) de 12 po de diamètre de classe de pression de 100 lb/po^2 a une épaisseur de paroi de 0,528 po alors qu'un tuyau en PVC (C905) de 14 po de diamètre et de pression nominale de 100 lb/po^2 a une épaisseur de paroi de 0,373 po (inférieure à celle du tuyau de 12 po). Cela est contraire à tout raisonnement technique de base.

Classe de pression de 100 lb/po^2 / Pression nominale
Tuyau en PVC de 12 po de diamètre de norme C900-97
t = 0,528 po
Tuyau en PVC de 14 po de diamètre de norme C905
t = 0,373 po

Une autre façon de comparer la conception des tuyaux conformes aux normes C900-97 et C900-07 est de calculer l'épaisseur de paroi de tuyaux de même diamètre en utilisant les données techniques des deux normes. Selon la norme C900-97, un tuyau en PVC de 12 po de diamètre et de classe de pression de 200 lb/po^2 exigerait une épaisseur de paroi de 0,943 po. Toutefois, selon la norme C900-07, le même tuyau n'exigerait qu'une épaisseur de 0,629 po (soit 33 % de moins que celle préconisée par la norme C900-97).

Classe pression de 200 lb/po^2 / Pression nominale
Tuyau en PVC de 12 po de diamètre de norme C900-97
t = 0,943 po
Tuyau en PVC de 12 po de diamètre de norme C900-07
t = 0,629 po
(une réduction de 33 % de l'épaisseur de paroi)

Comparaison des exigences d'essais physiques entre les normes C900-97, C900-07 et C905.

Non seulement les exigences de conception ont été réduites dans la norme C900-07, mais il en est de même pour les exigences d'essais. La pression d'essai hydrostatique dans la norme C900-07 a été réduite. Dans la norme C900-97, les pressions d'essai hydrostatique étaient équivalentes à quatre fois celles de la classe de pression désignée. D'un autre côté, dans la norme C900-07, elles ne sont que deux fois celles de la pression nominale désignée. De plus, la norme C905 n'exige pas les essais de résistance à l'éclatement ou de pression soutenue exigés par les normes C900-97 et C900-07.

Les révisions de 1997 des normes C900 et C905 incorporaient une nouvelle section intitulée « Exigences supplémentaires concernant les essais »; le titre de cette section est devenu « Fréquence d'essai facultatif » dans la révision de la norme C900 de 2007. Le titre porte à confusion, car la nouvelle section n'exige en effet aucun essai supplémentaire. Elle offre plutôt à l'acheteur ou au fournisseur le choix de permettre au fabricant d'effectuer des essais hydrostatiques sur les tuyaux (et les raccords dans la norme C900) à des fréquences inférieures à celles prescrites dans les sections appropriées des normes. Ces sections portant sur les essais de vérification exigent que « chaque longueur de tuyau standard ou non » et chaque raccord soient soumis à des essais hydrostatiques. Par conséquent, l'acheteur ou le fournisseur (qui peut être un distributeur ou un entrepreneur) pourrait préciser, par exemple, qu'un tuyau sur dix ou un tuyau sur cent soit mis à l'essai. Pour éviter une telle situation, les devis devraient exiger une certification de la part du fabricant confirmant que chaque longueur de tuyau et chaque raccord ont été soumis à des essais hydrostatiques conformément à la norme.

Ce ne sont là que quelques-unes des exigences qui ont été réduites dans les normes C900-07 et C905 pour les tuyaux en PVC, ce qui pourrait avoir comme résultat un produit de qualité inférieure par rapport aux tuyaux conçus conformément à la norme C900-97. Le tableau 1 met en relief des exemples de lacune des normes C900-07 et C905 par rapport à la norme C900-97, et les compare aux exigences des normes ANSI/AWWA C150/A21.50 et ANSI/AWWA C151/A21.51.

TABLEAU 1
Comparaison entre les normes des tuyaux en fonte ductile et celles des tuyaux en PVC

Sujet	Tuyau en fonte ductile ANSI/AWWA C150/A21.50 ANSI/AWWA C151/A21.51[7]	Tuyau en PVC ANSI/AWWA C900-97	Tuyau en PVC ANSI/AWWA C900-07	Tuyau en PVC ANSI/AWWA C905
Tailles (dia.)	3 po à 64 po	4 po à 12 po	4 po à 12 po	14 po à 48 po
Longueurs de pose	18 pi, 20 pi	20 pi ± 1 pi	20 pi ± 1 pi	20 pi ± 1 pi
Classe de pression / pression nominale	Pouvant supporter jusqu'à 350 lb/po². Classe de pression de 150, 200, 250, 300 et 350. Des tuyaux pouvant supporter des pressions plus élevées peuvent être conçus.	Pouvant supporter jusqu'à 100, 150 et 200 lb/po² (DR 25, 18 et 14, respectivement) à une température de service de 23 °C (73,4 °F). Pour des températures de service supérieures à 23 °C (73,4 °F), les pressions nominales doivent être réduites en conséquence.	Pouvant supporter jusqu'à 165, 235 et 305 lb/po² (DR 25, 18 et 14, respectivement) à une température de service de 23 °C (73,4 °F). Pour des températures de service supérieures à 23 °C (73,4 °F), les pressions nominales doivent être réduites en conséquence.	Pouvant supporter jusqu'à 80, 100, 125, 160, 165, 200, 235 et 300 lb/po² (DR 51, 41, 32,5, 26, 25, 21, 18 et 14, respectivement) à une température de service de 23 °C (73,4 °F). Pour des températures de service supérieures à 23 °C (73,4 °F), les pressions nominales doivent être réduites en conséquence.
Méthodes de calcul	Conçu comme un conduit flexible. Calcul distinct pour la pression interne (équation d'effort circonférentiel) et la charge externe (effort de flexion et déflexion). Tolérance de moulage et tolérance de service ajoutées à l'épaisseur nette.	Conçu comme un conduit flexible. Calcul distinct pour la pression interne (équation d'effort circonférentielle) et la charge externe (déflexion) — **la charge externe n'est pas couverte par la norme.** Aucune prise en compte de l'effort de flexion.	Idem C900-97	Idem C900-97
Calcul de la pression interne	Classe de pression : La contrainte causée par la pression de service et les surpressions ne peut pas dépasser la limite d'élasticité minimale de 42 000 lb/po² ÷ le facteur de sécurité de 2,0.	Classe de pression : La contrainte causée par la pression de service et les surpressions ne peut pas dépasser la base de calcul hydrostatique (BCH) (4 000 lb/po²) ÷ le facteur de sécurité de 2,5 (BCH = 1 600 lb/po²).	Pression nominale: La contrainte causée par la pression de service ne peut pas dépasser la base de calcul hydrostatique (4 000 lb/po²) ÷ le facteur de sécurité de 2 (BCH = 2 000 lb/po²).	Idem C900-07
Tolérance pour surpressions	La tolérance nominale pour les surpressions est de 100 lb/po² (basée sur un changement de vitesse instantané d'environ 2 pi/s); cependant, les surpressions réelles anticipées doivent être utilisées.	Tolérance pour des surpressions de 30, 35 ou 40 lb/po² pour DR 25, 18 et 14, respectivement. Basée sur un changement de vitesse instantané d'environ 2 pi/s.	Aucune incluse. La pression nominale doit être réduite pour tenir compte des surpressions. Les surpressions basées sur un changement de vitesse instantané de 2 pi/s seraient de 30, 35 et 40 lb/po² (pour DR 25, 18 et 14, respectivement).	Aucune incluse. La pression nominale doit être réduite pour tenir compte des surpressions. Les surpressions basées sur un changement de vitesse instantané de 2 pi/s seraient de 21, 23, 26, 29, 30, 32, 35 et 40 lb/po² (pour les DR 51, 41, 32,5, 26, 25, 21, 18 et 14 respectivement).
Calcul de la charge externe	Charge de prisme + charge du camion. Contrainte de flexion annulaire limitée à 48 000 lb/po², qui correspond à la moitié de la résistance à la rupture par flexion minimale. La déflexion est limitée à 3 % du diamètre extérieur du tuyau, ce qui correspond à la moitié de la déflexion qui pourrait endommager le revêtement intérieur en mortier de ciment.	Aucune norme de calcul d'épaisseur pour le tuyau en PVC. La norme d'installation ANSI/AWWA C605[8] établit une limite de 5 % sur la déflexion transversale verticale. On fait référence au manuel AWWA M23[9] pour les méthodes de calcul. Charge de prisme + charge du camion. Utilise l'équation de déflexion modifiée de l'Iowa; toutefois, aucun facteur de sécurité n'est défini.	Idem C900-97	Idem C900-97
Charge vive	AASHTO H-20, en supposant une charge par roue simple concentrée de 16 000 lb. Le facteur de choc est de 1,5 pour toutes les profondeurs.	**Calcul non couvert dans la norme.** On fait référence au manuel AWWA M23 pour les méthodes de calcul. AASHTO H-20, charge par roue de 16 000 lb. Facteur de choc de 1,1 pour des profondeurs entre 2 et 3 pi (61 et 91 cm). Facteur de choc de 1,0 pour des profondeurs de 3 pi (91 cm) ou plus.	Idem C900-97	Idem C900-97

TABLEAU 1
Comparaison entre les normes des tuyaux en fonte ductile et celles des tuyaux en PVC (suite)

Sujet	Tuyau en fonte ductile ANSI/AWWA C150/A21.50 ANSI/AWWA C151/A21.51[7]	Tuyau en PVC ANSI/AWWA C900-97	Tuyau en PVC ANSI/AWWA C900-07	Tuyau en PVC ANSI/AWWA C905
Tailles (dia.)	3 po à 64 po	4 po à 12 po	4 po à 12 po	14 po à 48 po
Longueurs de pose	18 pi, 20 pi	20 pi ± 1 pi	20 pi ± 1 pi	20 pi ± 1 pi
Facteur de sécurité	**Calcul de pression :** 2,0 (y compris les surpressions) basé sur une résistance à la traction minimale de 42 000 lb/po^2. **Calcul de la charge externe :** 2,0 pour la flexion basée sur une résistance à la rupture par flexion annulaire de 96 000 lb/po^2 ou 1,5 pour la flexion basée sur une résistance minimale d'élasticité par flexion annulaire de 72 000 lb/po^2. 2,0 pour la déflexion d'un tuyau à revêtement intérieur de mortier de ciment. **Remarque : Les facteurs de sécurité réels sont supérieurs aux facteurs de sécurité nominaux en raison de l'ajout de la tolérance de service et de la prise en compte de la tolérance de moulage dans le calcul.**	**Calcul de pression :** 2,5 (y compris les surpressions) basé sur la BCH. **Calcul de la charge externe :** Aucun facteur de sécurité ne peut être calculé. Aucun critère de charge externe n'est défini. **Remarque : Les facteurs de sécurité et la résistance sont considérablement affectés par les températures, les égratignures de surface et l'exposition prolongée au soleil. Les tuyaux soumis à des charges cycliques sont plus susceptibles d'avoir des facteurs de sécurité plus faibles que ceux soumis à des charges statiques.**	**Calcul de pression :** 2,0 (pas de surpressions incluses) basé sur la BCH. En cas de surpression, le facteur de sécurité de 2,0 est réduit. Pour les surpressions occasionnelles (d'urgence), le facteur de sécurité peut être réduit à 1,25. Pour les surpressions récurrentes, le calcul se base sur la contrainte moyenne, l'amplitude de la contrainte, le nombre de cycles avant défaillance et la vie nominale du tuyau. **Calcul de la charge externe : Remarque : Les facteurs de sécurité et la résistance sont considérablement affectés par les températures, les égratignures de surface et l'exposition prolongée au soleil. Les tuyaux soumis à des charges cycliques sont plus susceptibles d'avoir des facteurs de sécurité plus faibles que ceux soumis à des charges statiques.**	**Calcul de la pression :** 2,0 (pas de surpressions incluses) basé sur la BCH. La section 4.6.2 avertit le concepteur que lors de l'utilisation de tailles de tuyau conformes à la norme C905 dans des systèmes de distribution, il peut s'avérer nécessaire d'établir le facteur de sécurité à 2,5 et d'ajouter une allocation pour surpressions. **Calcul de la charge externe :** Identique à la norme C900. **Remarque :** Identique à la norme C900.
Conditions de tranchée prescrites	Cinq conditions de pose prescrites (Types 1 à 5) Paramètres de sol et E' conservateur énumérés. Le type 1 (fond plat, remblai non compacté) ou le type 2 (tranchée à fond plat, remblai légèrement consolidé jusqu'à la ligne médiane du tuyau) sont applicables dans la plupart des cas.	Non couvertes dans la norme. La préface de la norme fait référence au manuel AWWA M23 et à la norme ANSI/AWWA C605. La norme C605 contient cinq conditions de pose définies comme « types d'enfouissement courants ». Ces types de tranchée ressemblent aux types utilisés dans la norme de conception des tuyaux en fonte ductile (AWWA C150); toutefois, la norme AWWA C605 utilise des valeurs de tranchée beaucoup moins modestes pour la constante d'assise (K) et le module d'élasticité du sol (E') dans les types de tranchée courants où des tuyaux en PVC sont installés.	Idem C900-97	Idem C900-97
Essai hydrostatique	Chaque tuyau est testé à une pression minimale de 500 lb/po^2 pendant au moins 10 secondes à pression maximale.	Chaque tuyau est testé à une pression équivalant à 4 fois la pression de la classe pendant au moins 5 secondes à pression maximale. Une disposition (section 5.1.14) pour « l'acheteur et/ou le fournisseur » permet au fabricant d'effectuer des essais hydrostatiques sur les tuyaux à des fréquences « autres que les fréquences stipulées ». Autrement dit, il n'y pas d'obligation d'effectuer un essai de pression sur chaque tuyau en PVC.	Chaque tuyau est testé à une pression équivalant à 2 fois la pression de la classe pendant au moins 5 secondes à pression maximale. Une disposition (section 5.1.14) pour « l'acheteur et/ou le fournisseur » permet au fabricant d'effectuer des essais hydrostatiques sur les tuyaux à des fréquences « autres que les fréquences stipulées ». Autrement dit, il n'y pas d'obligation d'effectuer un essai de pression sur chaque tuyau en PVC.	Identique à la norme C900-97, sauf que la section 5.1.14 est la section 5.1.9.
Essais en usine	Au moins un échantillon de chaque période de coulage d'environ 3 heures sera soumis à un essai de résistance à la traction; il doit présenter une limite d'élasticité minimale de 42 000 lb/po^2, une résistance minimale à la rupture de 60 000 lb/po^2 et une élongation minimale de 10 %. Au moins un échantillon sera prélevé par heure pour l'essai Charpy (minimum de 7 pi-lb) avec un essai supplémentaire de choc à faible température (minimum de 3 pi-lb) effectué pour au moins 10 % des échantillons prélevés pour l'essai Charpy ordinaire.	Un essai de pression soutenue (1 000 heures) est effectué deux fois par année à environ 3,25 à 3,5 fois la classe de pression. La résistance à l'éclatement (à environ 5 fois la classe de pression) est mise à l'essai une fois par 24 heures. La résistance à l'aplatissement est mise à l'essai une fois toutes les 8 heures, comme le précise la norme ASTM D2412[10]. La qualité d'extrusion est mise à l'essai une fois toutes les 8 heures, comme le précise la norme ASTM D2152[11].	L'essai de pression soutenue (1 000 heures) est effectué deux fois par année à environ 2,12 à 2,13 fois la classe de pression. La résistance à l'éclatement (à environ 3,23 fois la classe de pression) est mise à l'essai une fois par 24 heures. La résistance à l'aplatissement est mise à l'essai une fois toutes les 8 heures, comme le précise la norme ASTM D2412[10]. La qualité d'extrusion est mise à l'essai une fois toutes les 8 heures, comme le précise la norme ASTM D2152[11].	La résistance à l'aplatissement est mise à l'essai une fois toutes les 8 heures, comme le précise la norme ASTM D2412. La qualité de l'extrusion est mise à l'essai une fois toutes les 8 heures, comme le précise la norme ASTM D2152. Les essais de résistance à l'éclatement et de pression soutenue ne sont pas exigés.

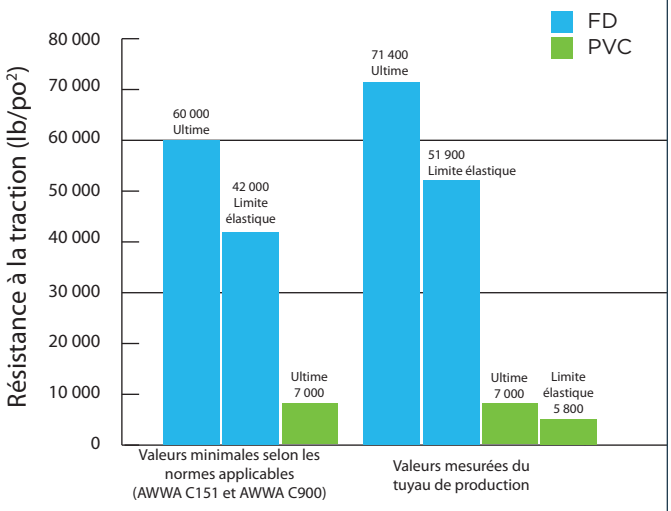
Un tuyau en fonte ductile a une résistance à la traction de plus de huit fois supérieure à celle d'un tuyau en PVC.
La résistance à la traction d'un matériau utilisé dans la fabrication du tuyau est une propriété élémentaire très importante, car c'est elle qui permet au tuyau de résister aux forces imposées par la pression hydrostatique interne et les coups de bélier.

La figure 1 compare les résistances à la traction d'un tuyau en fonte ductile et d'un tuyau en PVC. À des fins de comparaison, la figure présente les valeurs minimales par normes applicables et les résultats d'essais réels mesurés sur des échantillons provenant de la paroi d'un tuyau en fonte ductile de 6 po de classe de pression 350* et d'un tuyau en PVC de 6 po DR 18 (PN 235, antérieurement PC 150).

*La classe de pression 350 est la classe minimale offerte pour un tuyau en fonte ductile de 6 po.

FIGURE 1

Résistance à la traction



Les variations types de la température d'exploitation ou d'installation n'affectent pas la résistance du tuyau en fonte ductile.
Puisque la fonte ductile bénéficie d'un coefficient de dilatation thermique modéré et fiable, les changements de température de service ne créent que peu de problèmes. De plus, dans une plage typique de températures de service d'un réseau de distribution d'eau (0 °C à 35 °C ou 32 °F à 95 °F) ou dans une plage réaliste de températures d'installation (-23,3 °C à 43,3 °C ou -10 °F à 110 °F), il n'y a pas de différence importante de la résistance à la traction du tuyau en fonte ductile.

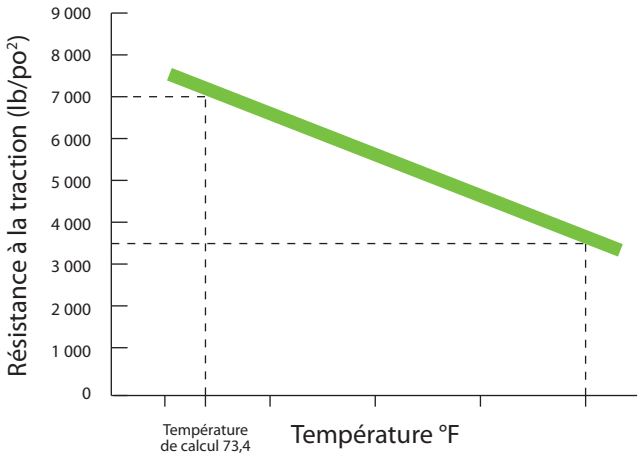
D'un autre côté, en raison de son coefficient élevé de dilatation thermique, le rendement du tuyau en PVC est étroitement lié à la température de service.[12] Lorsqu'un tuyau en PVC est utilisé à des températures de service supérieures à 23 °C (73,4 °F), il perd de sa résistance à la traction, de sa rigidité et de sa stabilité dimensionnelle. Ainsi, la résistance à la pression du tuyau en PVC est réduite et des précautions supplémentaires doivent être prises pendant l'installation pour éviter toute déflexion excessive.[13]

À l'inverse, à des températures inférieures à 23 °C (73,4 °F), le PVC perd de sa résistance aux chocs et devient moins ductile, nécessitant une plus grande attention lors de sa manipulation par temps froid.[14] Comme le coefficient de dilatation thermique du tuyau en PVC est d'environ cinq fois celui du tuyau en fonte ductile [15], il est concevable de supposer que le tuyau en PVC, exposé à des changements de température extrêmes, connaîtra des mouvements structuraux indésirables comme une déformation ou un désemboîtement des joints en raison de la dilatation ou de la contraction.

La figure 2 montre le lien avec la température en tenant compte d'une résistance à la traction standard de 7 000 lb/po² pour le PVC. À 43,3 °C (110 °F), la résistance à la traction du PVC est d'environ la moitié de celle enregistrée à une température de 23 °C (73,4 °F).

FIGURE 2

Relation résistance-température pour le PVC



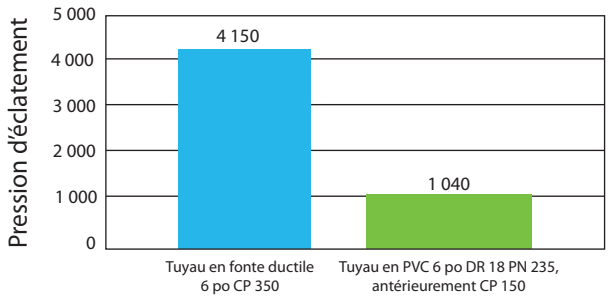
Le tuyau de fonte ductile résiste à une pression hydrostatique d'éclatement jusqu'à quatre fois supérieure à celle du PVC

L'essai d'éclatement est la mesure la plus directe de la résistance à la pression hydrostatique d'un matériau utilisé dans la fabrication du tuyau. La figure 3 compare la pression moyenne d'éclatement d'un tuyau en fonte ductile de 6 po et de classe 350* à celle d'un tuyau en PVC de 6 po DR 18 (PN 235, antérieurement CP 150). Il est à noter que le tuyau en fonte ductile est offert dans des classes de pression allant jusqu'à 350 lb/po^2 dans tous les diamètres, de 3 po à 64 po. Aucun tuyau en PVC conforme à la norme C900 ou C905 n'est fabriqué pour bénéficier d'une capacité de pression exceptionnelle comme celle d'un tuyau en fonte ductile.

*La classe de pression 350 est la classe minimale offerte pour un tuyau en fonte ductile de 6 po.

FIGURE 3

Pression hydrostatique d'éclatement
Tuyau en fonte ductile et tuyau en PVC de 6 po

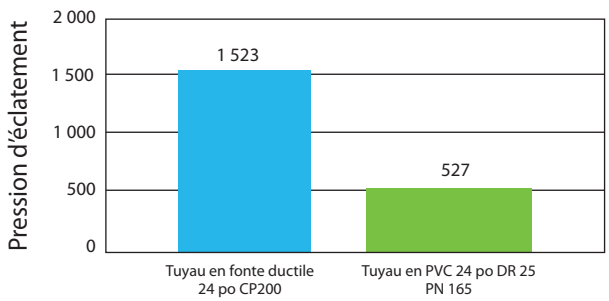


La figure 4 compare la pression hydrostatique d'éclatement d'un tuyau en fonte ductile de 24 po et de classe 200* à celle d'un tuyau en PVC de 24 po DR 25 (pression nominale de 165). Dans les essais de laboratoire, la pression d'éclatement moyenne du tuyau en fonte ductile de 24 po était de 1 523 lb/po^2. Pour le tuyau en PVC, elle était de 527 lb/po^2, soit environ un tiers de celle du tuyau en fonte ductile.

*La classe de pression 200 est la classe la plus faible offerte pour un tuyau en fonte ductile de 24 po.

FIGURE 4

Pression hydrostatique d'éclatement
Tuyau en fonte ductile et tuyau en PVC de 24 po



La résistance du tuyau en fonte ductile n'est pas compromise par le temps

Avec un tuyau en fonte ductile, il n'y a pas de relation mesurable entre la force à la traction appliquée et le temps avant la rupture. Ainsi, la résistance utilisée dans les calculs de pression hydrostatique du tuyau en fonte ductile est sa limite élastique minimale, soit 42 000 lb/po^2.

Le PVC répond à la contrainte de traction par sa rupture après une période de temps inversement proportionnelle à la contrainte appliquée. Ainsi, la résistance utilisée pour le calcul de la pression hydrostatique du tuyau en PVC est inférieure à la limite d'élasticité telle que déterminée lors d'un essai de courte durée.[16] La valeur de résistance utilisée est appelée résistance à la pression hydrostatique à long terme et on y fait aussi référence sous l'expression « base de calcul hydrostatique » (BCH).

La valeur BCH, qui se définit par la contrainte appliquée provocant la rupture après 100 000 heures (11,4 ans), est déterminée selon les méthodes standard de l'ASTM par extrapolation des données accumulées à partir d'essais pouvant durer jusqu'à 10 000 heures (1,14 an).[17] En ce qui concerne le composé de PVC entrant dans la fabrication du tuyau conforme aux normes C900 et C905, la BCH est de 4 000 lb/po^2.[18] La BCH sera inférieure à 4 000 lb/po^2 pour un tuyau en PVC utilisé à des températures supérieures à 23 °C (73,4 °F).[19]

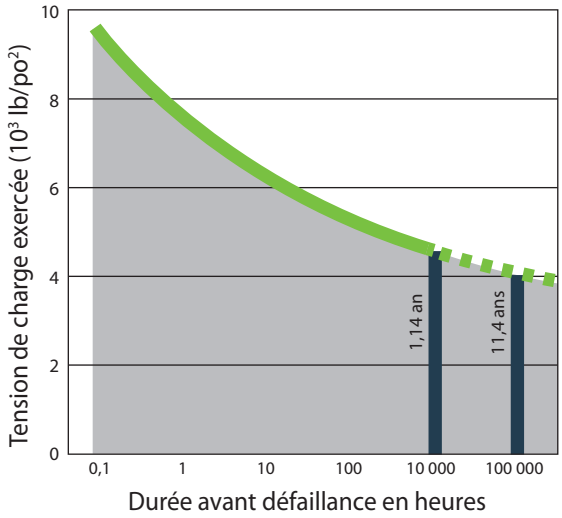
Puisqu'aucun service public ne souhaite que ses tuyaux ne durent que 11,4 ans, un facteur nominal de sécurité est appliqué à la résistance à la pression hydrostatique à long terme. Le facteur nominal de sécurité dépend de la norme selon laquelle le tuyau a été fabriqué. En ce qui concerne les normes ANSI/AWWA C905 et ANSI/AWWA C900-07, le facteur de sécurité est de 2,0. En ce qui concerne la norme ANSI/AWWA C900-97, le facteur de sécurité était de 2,5, lequel incluait aussi une allocation pour les surpressions basée sur un changement de vitesse instantané de deux pieds par seconde. Ces deux méthodes de calcul se basent strictement sur la pression hydrostatique et ne tiennent pas compte d'autres contraintes localisées qui peuvent survenir pendant l'installation ou en cours d'exploitation à long terme ni des fluctuations de pression éventuelles. Et pourtant, ces facteurs ont une grande incidence sur la durée de vie du tuyau.

La figure 5 montre une courbe type de régression d'un tuyau en PVC sous pression. La courbe de régression est un tracé des points de défaillance qui illustre l'aptitude de résistance à la contrainte du PVC en fonction de l'importance de la contrainte et de la durée pendant laquelle celle-ci est appliquée. Ainsi, la courbe de régression de la contrainte est une

représentation du temps écoulé avant la rupture du PVC à un niveau donné de contrainte. Et, comme le montre la courbe, plus la contrainte est élevée, plus la vie utile anticipée du tuyau en PVC est courte.[20]

FIGURE 5

Courbe type de régression d'un tuyau en PVC[21]



Le tuyau de fonte ductile a une résistance à la compression jusqu'à huit fois supérieure à celle du PVC.

Les différentes théories d'élaboration de projet de réseaux enfouis prennent plus d'importance lorsqu'elles sont mises en relation avec le calcul de la charge externe. Les tuyaux en fonte ductile et en PVC, étant tous deux des tubes annulaires flexibles, répondent à la charge externe en fléchissant.[22] L'interaction entre la déformation annulaire et le sol environnant est la question complexe des théories de conception.

La méthode de conception des tuyaux en fonte ductile se base sur le moyen de limiter la contrainte de flexion et la déflexion annulaires, alors que le seul paramètre utilisé dans la conception des tuyaux en PVC est la déflexion annulaire.

La méthode de conception standard du tuyau en fonte ductile limite la déflexion annulaire causée par les charges externes à 3 %. Cette limite, qui se base sur la limite de rendement des revêtements intérieurs de mortier de ciment généralement spécifiés pour les tuyaux en fonte ductile, comprend un facteur de sécurité explicite de 2. Ce calcul emploie les mêmes hypothèses conservatrices sur les paramètres du sol et les charges de terre que celles utilisées dans le calcul de la contrainte de flexion.

La méthode de conception habituelle pour le tuyau en PVC limite la déflexion annulaire à 5 %[23] — le seul facteur pris en compte étant les charges externes.

Les méthodes de conception des tuyaux en fonte ductile et en PVC emploient toutes deux la formule de l'Iowa pour prédire la déflexion du tuyau.[24] Dans cette formule, la rigidité du tuyau et celle du matériau de remblayage entourant le tuyau contribuent à limiter la déflexion. Puisque le tuyau de PVC est beaucoup moins rigide que celui en fonte ductile, la rigidité du sol prend une importance accrue dans ce cas. En ce qui concerne le tuyau en PVC, les conditions d'assise et l'inspection de l'installation sur place sont donc beaucoup plus cruciales.

L'essai d'écrasement d'un anneau entre plaques parallèles fournit une comparaison simple des résistances relatives des deux types de matériaux. La figure 6 compare la rigidité des tuyaux résultant de tels essais réalisés sur un tuyau en fonte ductile de 6 po de classe 350* et sur un tuyau en PVC de 6 po DR 18 (C900). De la même façon, la figure 7 compare la rigidité d'un tuyau en fonte ductile de 24 po de classe 200** à celle d'un tuyau en PVC DR 25 (C905).

*La classe de pression 350 est la classe minimale offerte pour un tuyau en fonte ductile de 6 po.
**La classe de pression 200 est la classe la plus faible offerte pour un tuyau en fonte ductile de 24 po.

FIGURE 6

Comparaison de la rigidité d'un tuyau de 6 po en FD à celle d'un tuyau en PVC

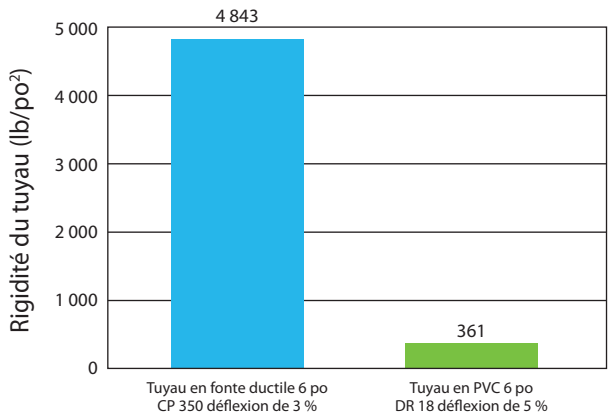
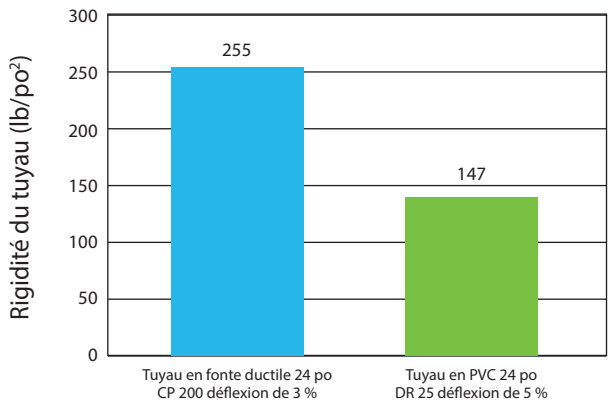


FIGURE 7

Comparaison de la rigidité d'un tuyau de 24 po en FD à celle d'un tuyau en PVC

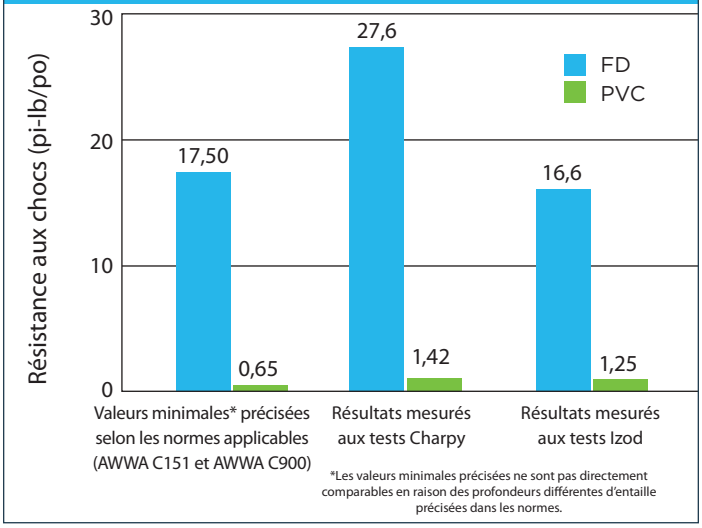


La résistance au choc d'un tuyau en fonte ductile est plus de treize fois supérieure à celle d'un tuyau en PVC.

La résistance au choc est une autre caractéristique importante des matériaux utilisés dans la fabrication des tuyaux. Bien que cette propriété soit davantage liée aux conditions auxquelles le tuyau est exposé en cours de manipulation, de livraison et d'installation, elle est néanmoins importante, car tout dommage survenu pendant ces activités peut passer inaperçu et avoir pour conséquence des défaillances ultérieures dans le réseau en service. La figure 8 compare la résistance aux chocs prescrite et mesurée pour un tuyau en fonte ductile et un tuyau en PVC, tous deux mis à l'essai par les méthodes IZOD (poutre en porte-à-faux) et Charpy (poutre simple).[25] Ces valeurs sont représentatives des essais réalisés à une température de 23 °C (73,4 °F). Comme pour la résistance à la traction, il n'existe pas de relation mesurable entre la résistance aux chocs et la température dans les plages prévues pour le tuyau en fonte ductile. Cependant, le tuyau en PVC montre une diminution mesurable de la résistance aux chocs à des températures inférieures à 23 °C (73,4 °F).[26] La diminution de la résistance aux chocs du PVC est également mesurable à la suite d'une surexposition du tuyau aux rayons du soleil, un facteur important dont il faut tenir compte lors de l'entreposage des tuyaux en PVC.[27]

FIGURE 8

Résistance aux chocs

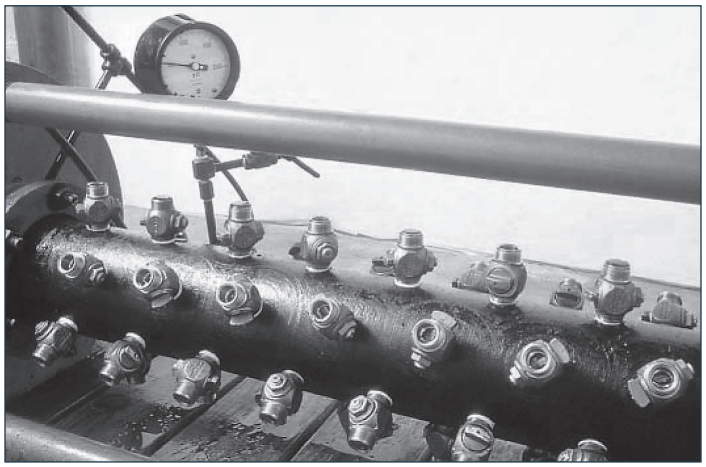


L'installation de prises sous pression est plus facile, moins chère et plus rapide, en plus d'être moins susceptible d'endommager le tuyau sur un tuyau en fonte ductile que sur un tuyau en PVC.

DIPRA a réalisé des essais comparant différents paramètres visés dans le cas des prises sous pression sur des longueurs de 5 pieds de tuyau en fonte ductile de 6 po de classe 350 et de tuyau en PVC de 6 po DR 14 (pression nominale de 305, antérieurement CP 200), y compris des essais d'étanchéité, des essais d'arrachement, de même que des essais de charge en porte-à-faux.[28] Les prises sous pression ont été exécutées sur chaque type de matériau selon les instructions du fabricant par le même opérateur. Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous.

Essais d'étanchéité

La prise sous pression a été effectuée à une pression interne de 50 lb/po^2; la pression a ensuite été augmentée par incréments de 25 lb/po^2 à la capacité de pression maximale de chaque tuyau (350 lb/po^2 pour la classe de pression 350 du tuyau en fonte ductile et 200 lb/po^2 pour le tuyau en PVC DR 14). La révision de 2007 de la norme C900 a réduit le facteur de sécurité de 2,5 à 2,0, ce qui fait qu'un tuyau DR 14 de classe de pression 200 est désormais homologué à 305 lb/po^2. Les pressions internes plus élevées désormais permises pour un tuyau DR 14 entraîneront probablement plus de fuites pour un tuyau en PVC que celles qui ont été observées lors de ces essais.



Huit prises de 3/4 po ont été exécutées sur cinq échantillons en PVC. Les robinets de prise ont été serrés à un couple de 27 pi-lb selon les instructions du fabricant. Sur les huit prises sous pression, cinq présentaient des fuites avant d'atteindre la pression interne maximale de 200 lb/po^2. Toutes les fuites se sont produites au niveau du raccordement fileté du tuyau en PVC et du robinet de prise. Chacun des cinq raccordements qui fuyaient a été resserré à un couple de 35 pi-lb et la pression interne a été augmentée. Chacun de ces raccordements a continué à fuir avant d'atteindre la pression de service du tuyau de 200 lb/po^2.

Selon le ***Handbook of PVC Pipe-Design and Construction***, un tuyau en PVC qui continue de fuir après qu'un robinet de prise ait été serré à un couple de 35 pi-lb doit être mis hors service; le robinet de prise doit être enlevé, les filets inspectés et nettoyés, puis le robinet de prise doit être réinstallé à un couple de serrage de 27 pi-lb et revérifié.[29]

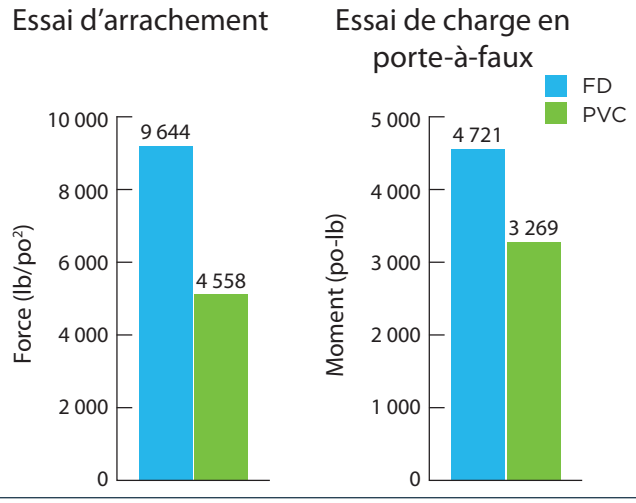
Six prises sous pression de 3/4 po ont été effectuées sur des échantillons de tuyau en fonte ductile en étant initialement serrées à un couple de 30 pi-lb. Un seul échantillon a présenté une fuite observée au raccordement fileté du tuyau, à une pression interne de 175 lb/po². Ce robinet de prise a ensuite été resserré à un couple de 40 pi-lb afin d'arrêter la fuite. Après avoir resserré ce seul robinet de prise, **aucun autre raccordement n'a présenté de fuite, même à une pression de 500 lb/po², soit la pression à laquelle les essais ont été conclus.**

Conservation des robinets de prise

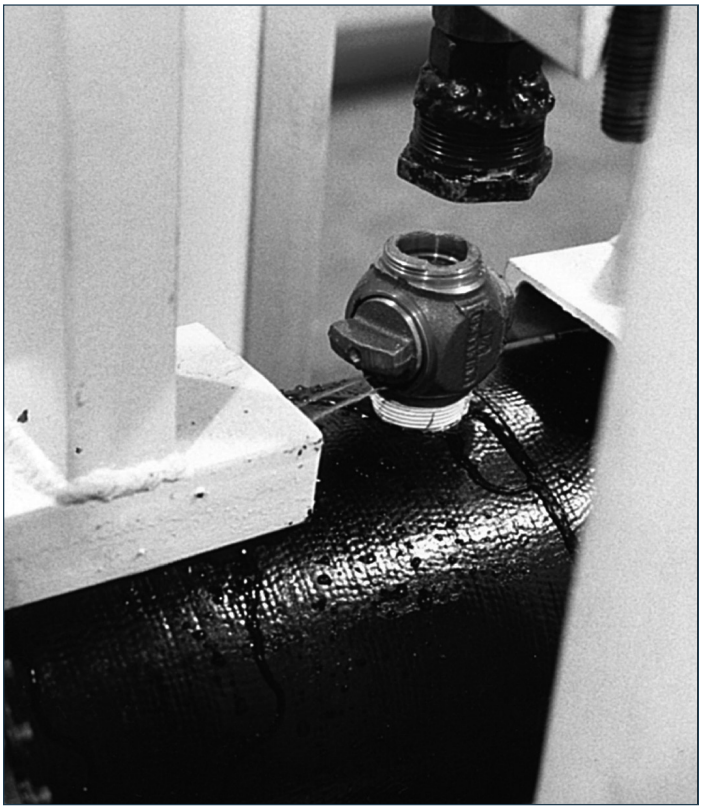
Un autre point de comparaison significatif est la vulnérabilité aux dommages des branchements de service. La figure 9 décrit la force d'arrachement et le moment nécessaires pour briser un robinet de 3/4 po dans un tuyau en fonte ductile de 6 po et un tuyau en PVC, tant en traction qu'en porte-à-faux.

FIGURE 9

Rétention de robinet de prise
Charge moyenne jusqu'à défaillance



La différence remarquable entre les valeurs est encore plus significative, car les bris survenus dans les essais sur un tuyau en fonte ductile touchaient les robinets de prise en laiton. Aucun dommage n'a été infligé au tuyau. Dans chaque cas, les bris dans le tuyau en PVC touchaient la paroi du tuyau. Cette distinction est très importante lorsque l'on considère la difficulté relative d'une réparation.



Les recherches montrent que la résistance des parois d'un tuyau en fonte ductile dépasse celle du robinet de prise, contrairement aux parois de tuyau en PVC. Lorsqu'ils sont mis sous la contrainte par des charges en porte-à-faux ou une force d'arrachement, les prises sous pression dans le tuyau en fonte ductile ne se traduisent pas par une défaillance des parois du tuyau. Les photos des essais d'arrachement sur le tuyau en PVC montrent que la fuite s'est produite au niveau du raccordement fileté au tuyau, causant le bris de la paroi du tuyau là où se trouve le robinet de prise. Au cours des mêmes essais, une fuite dans le tuyau en fonte ductile s'est produite sur les vis de réglage d'ouverture des robinets de prise, comme le montre la photo, et non pas sur le raccordement fileté au tuyau. La défaillance s'est produite au niveau du raccordement fileté pour la canalisation de service, non pas au raccordement fileté au tuyau.

Utilisation de sellettes

La norme C900 pour les tuyaux en PVC exige l'utilisation d'une sellette de branchement pour certaines épaisseurs de parois— et l'intégrité de la prise directe est mise en doute pour toutes les épaisseurs de tuyau en PVC. Des sellettes sont nécessaires sur toutes les épaisseurs de tuyau en PVC conformes à la norme C905.[30] D'un autre côté, l'utilisation de sellettes sur un tuyau en fonte ductile n'est pas nécessaire pour la plupart des services résidentiels normaux.

Avantages des prises sous pression sur un tuyau en fonte ductile

Lorsque l'on exécute des branchements de service sur un tuyau en PVC, il est important de suivre les directives décrites dans la norme ANSI/AWWA C605 et les guides d'installation des fabricants.

La lecture des méthodes de réalisation des prises sous pression décrites dans le Johns-Manville (J-M) Blue Brute Installation Guide[31] révèle de nombreuses choses à éviter. Par exemple :

- Ne pas percer dans une partie du tuyau qui montre de la décoloration (brûlure par le soleil).
- Ne pas percer sur l'extérieur du rayon de courbure d'un tuyau qui a été courbé (déformé) au-delà du rayon de courbure recommandé.
- Ne pas créer d'ovalisation ou de distorsion du tuyau en serrant excessivement la taraudeuse ou la sellette.
- Ne pas forcer la fraise à travers la paroi du tuyau, effectuer les coupes lentement et se servir du fouloir très délicatement.
- Ne pas utiliser de pâte à joint ou d'autres enduits d'étanchéité liquides pour filets.

Le guide d'installation J-M fournit des précautions explicites pour le perçage de tuyaux en PVC sous pression. L'une de ces précautions consiste à « préparer un moyen de sortie simple et rapide de la zone de travail en cas d'inondation. Une échelle solide est recommandée. » Lors du bris d'un tuyau en PVC comme celui-ci, un tel conseil est particulièrement utile.

Le guide J-M exprime aussi des préoccupations supplémentaires : On conseille notamment de ne pas « percer directement un tuyau Blue Brute s'il est prévu de faire fonctionner le système à une température dépassant 29,4 °C (85 °F) ». Mais, d'un autre côté, le « perçage par temps froid (sous les 4,4 °C [40 °F]) exige des précautions supplémentaires, car les tuyaux perdent une certaine résilience et peuvent devenir plus fragiles et susceptibles de dommages s'ils sont manipulés de manière trop vigoureuse. Les dommages survenus avant l'exécution de prises sous pression peuvent ressortir lorsque le tuyau est percé ». Le guide d'installation J-M fournit d'autres précautions de sécurité explicites pour le perçage de tuyaux en PVC sous pression : « Lorsqu'on exécute des prises sous pression sur un tuyau d'eau en PVC, des mesures de précaution élémentaires sont conseillées pour prévenir les blessures aux travailleurs dans le cas d'une défaillance imprévue et soudaine du tuyau. Elles comprennent notamment ce qui suit :

1. Ne pas descendre dans une tranchée ou un trou pour y effectuer des travaux de prise sous pression sans qu'un deuxième travailleur ou superviseur se trouve à proximité immédiate.
2. En plus de porter des vêtements de protection normaux, le port de lunettes de protection ou d'un écran facial est conseillé.
3. Préparer un moyen de sortie simple et rapide de la zone de travail en cas d'inondation. Une échelle solide est recommandée.
4. Le tuyau exposé dans la zone où seront effectuées les prises sous pression doit être recouvert d'une épaisse couverture de protection. Cette couverture de protection doit mesurer environ 4 pieds sur 6 pieds (1,2 m sur 1,8 m) et être dotée d'un trou en son milieu pour permettre l'installation et le fonctionnement de la taraudeuse. »

Selon ces instructions, une excavation de 4 pieds sur 6 pieds (1,2 m sur 1,8 m) est nécessaire pour recevoir la couverture de sécurité et effectuer la prise sous pression correctement selon les recommandations du fabricant. Contrairement aux tuyaux en fonte ductile qui ont été percés en toute sécurité de nombreuses fois dans des concours de perçage sous pression, on rapporte des cas de travailleurs blessés lors de l'exécution de prises sous pression sur des tuyaux en PVC. Si la courbure du tuyau ajoute une contrainte qui augmente la possibilité d'un bris lors du perçage, il est à souhaiter qu'une longueur suffisante de tuyau en PVC ait été exposée de manière à voir si le tuyau à percer a été courbé.

CONSIDÉRATIONS DE DÉBIT

Essais de débit

DIPRA a effectué des essais de débit sur des canalisations en service à Blackwood au New Jersey, à Dothan en Alabama et à Wister en Oklahoma

afin d'établir les valeurs du coefficient « C » de Hazen-Williams et de comparer les caractéristiques générales de débit des tuyaux en fonte ductile de 12 po et de 18 po à celles des tuyaux en PVC de mêmes diamètres.[32]

Dans les essais réalisés à Blackwood sur des tuyaux de 12 po de diamètre, le diamètre intérieur du tuyau en fonte ductile à revêtement intérieur de mortier de ciment était de 5,8 % supérieur à celui du tuyau en PVC - une capacité de débit supérieure de 12 %. Bien que le tuyau en PVC ait un coefficient « C » légèrement supérieur (indiquant une surface interne du tuyau légèrement plus lisse), la perte de charge était plus faible pour le tuyau en fonte ductile que pour celui en PVC en raison de son diamètre intérieur plus large.

Dans les tests réalisés sur des tuyaux de 12 po à Dothan, le diamètre intérieur du tuyau en fonte ductile était de 5,4 % supérieur à celui du tuyau en PVC - représentant une capacité de débit de 11,1 % supérieure. Le diamètre intérieur plus petit du tuyau en PVC s'est traduit par une vitesse plus élevée constante de 11,1 % et une perte de charge de 23,5 % plus élevée que le tuyau en fonte ductile, bien que les deux sections de tuyau transportaient le même volume d'eau.

Dans les essais réalisés à Wister sur des tuyaux de 18 po de diamètre, le diamètre intérieur du tuyau en fonte ductile à revêtement intérieur de mortier de ciment était de 8,5 % supérieur à celui du tuyau en PVC - ayant ainsi une capacité de débit supérieure de 17,7 %. Bien que le tuyau en PVC avait un coefficient « C » légèrement supérieur (140,6 contre 138,6), le diamètre interne plus petit du tuyau en PVC s'est traduit par une vitesse constante plus élevée de 17,7 % pour distribuer le même volume d'eau avec une résultante de perte de charge de 44,9 % plus élevée que pour le tuyau en fonte ductile.

Économies d'énergie

Le diamètre intérieur plus grand du tuyau en fonte ductile (par rapport au diamètre nominal) se traduit par des économies d'énergie importantes, qu'elles soient basées sur les coûts de pompage ou sur des considérations d'équivalence de tuyauteries.[33] En raison du diamètre intérieur plus grand du tuyau en fonte ductile (et des économies de coûts de pompage qui en résultent), les services publics peuvent réaliser des économies d'énergie appréciables et continuer à économiser année après année sur toute la durée de la vie utile de la canalisation.

En utilisant des théories d'équivalence de tuyauteries, les services publics peuvent réaliser des économies immédiates en utilisant le tuyau en fonte ductile. En raison de la perte de charge inférieure du tuyau en fonte ductile, les réseaux en PVC avec perte de charge équivalente exigeraient des diamètres de tuyau plus grands (et par conséquent plus chers) sur des portions du réseau. Par exemple, un réseau de 30 000 pi (9 144 m) de longueur en fonte ductile de 24 po (61 cm) de diamètre et de classe 200* distribuant 6 000 gal (22 712 l) par minute aurait la même perte de charge totale qu'un réseau de 23 920 pi (7 280,8 m) en fonte ductile de 24 po (61 cm) avec 6 080 pi (1 853,2 m) de conduites en PVC de 30 po (76,2 cm) de diamètre à pression nominale de 165.

*La classe de pression minimale offerte pour ce diamètre.

AUTRES CONSIDÉRATIONS

Manipulation du tuyau

Les fabricants de tuyaux en PVC affirment que ceux-ci sont plus faciles à manipuler que les tuyaux en fonte ductile puisqu'ils sont plus légers. Cet avantage est grandement surestimé. Lorsque le tuyau est livré sur le chantier, il doit toujours être vérifié pendant qu'il est toujours sur le camion pour y déceler tout dommage et s'assurer que le chargement est bien attaché et qu'il peut être déchargé de manière sécuritaire. Les normes AWWA et les manuels concernant les tuyaux de PVC[34] et de fonte ductile[35] exigent l'utilisation d'un équipement et de méthodes appropriées pour la manipulation du tuyau afin d'interdire de faire rouler ou de faire tomber le tuyau dans la tranchée. Le PVC est plus léger que la fonte ductile. Toutefois, un tuyau de 8 po (20,3 cm) en PVC DR 14 pèse 230 lb (104,3 kg), ce qui représente un poids considérable à manipuler pour une seule personne. Un tuyau en PVC de 12 po (30,5 cm) DR 18 pèse environ 400 lb (181,4 kg). Même deux hommes, ne devraient pas tenter de manipuler un tel poids. Chaque service public ou entrepreneur peut avoir ses propres consignes concernant la charge sécuritaire que peut transporter une personne. Toutefois, une charge de 200 lb (90,7 kg) dépasse la charge sécuritaire qui peut être transportée pour la grande majorité des travailleurs. Par conséquent, le même équipement est nécessaire pour décharger et descendre dans la tranchée de manière sécuritaire un tuyau, qu'il soit en PVC ou en fonte ductile.

Dommages lors de la manipulation

Comparé à la fonte ductile, le PVC est un matériau très mou et, par conséquent, il est beaucoup plus vulnérable aux abrasions, égratignures et autres dommages pendant la livraison et l'installation. En fait, les normes C900 et C905 stipulent que « la surface du tuyau doit être exempte d'entailles et d'égratignures importantes ».[36]

La manipulation inappropriée d'un tuyau en PVC peut entraîner des dommages dus aux chocs, des égratignures ou des entailles sur la paroi du tuyau. Si une égratignure ou une entaille résultant d'une telle manipulation a touché plus de 10 % de l'épaisseur de la paroi du tuyau, la norme ANSI/AWWA C605 recommande de refuser le tuyau à sa livraison.[37]

Si de tels dommages se produisent pendant l'installation, la section endommagée doit être coupée et enlevée du reste du tuyau. Sur un tuyau en PVC de 8 po (20,3 cm) DR 18, une égratignure de 10 % de l'épaisseur de la paroi (1,27 mm ou 0,05 po) correspond environ à l'épaisseur d'une pièce de dix cents! On recommande que l'inspecteur d'un chantier où sont installés des tuyaux en PVC soit équipé d'une jauge d'épaisseur appropriée afin de mesurer l'étendue des dommages qui peuvent survenir lors de la manipulation et de l'installation du tuyau.

À l'opposé, la fonte ductile est un matériau robuste qui, en général, ne peut pas être égratigné ou rayé par le type de manipulation qui peut endommager un tuyau en PVC. De plus, la résistance des matériaux aux égratignures, de même que les résistances à la traction/compression deviennent de plus en plus importantes en raison des nouvelles méthodes d'installation sans tranchée plus exigeantes comme le forage directionnel ou l'éclatement de tuyau. En raison de la grande résistance et de la durabilité de la fonte ductile, il n'y a aucune perte de résistance mesurable causée par des égratignures et écorchures découlant d'une manipulation normale.

Coups de bélier et charges cycliques

Les tuyaux de fonte ductile et de PVC sont tous deux susceptibles de subir les contraintes cycliques de coups de bélier causés par des changements de vitesse d'écoulement dans le réseau. Le tuyau en fonte ductile possède une excellente résistance à de telles contraintes cycliques. Robert T. Hucks a signalé toutefois que le calcul de base hydrostatique du PVC (c.-à-d. le niveau de contrainte entraînant la rupture après 11,4 ans) est plus faible dans des conditions de charge cyclique que dans des conditions de charge statique. [38] En fait, Hucks a proposé qu'un calcul de base hydrostatique cyclique qui limiterait la contrainte dans la paroi d'un tuyau en PVC à 1 000 lb/po^2 soit utilisée. Cette proposition reflétait un facteur de sécurité de 1,5 à 1 concernant la limite de fatigue du tuyau en PVC, laquelle, a noté Hucks, était de 1 500 lb/po^2 lors d'essais. Le nombre de cycles avant le bris est également réduit par les égratignures à la surface du tuyau, selon leur gravité. Selon Hucks, des essais réalisés sur un tuyau en plastique ont montré qu'une égratignure de 0,01 po (0,25 mm) et de 10 po (25,4 cm) de long sur un tuyau de 1,5 po (3,8 cm) d'une pression nominale de 160 lb/po^2 réduisait le nombre de cycles avant défaillance de 52 000 à 9 600.[39] Cette profondeur critique est d'environ 1/32 po (0,8 mm) pour un tuyau en PVC de 6 po (15 cm) de classe 150. Cette propriété n'est pas prise en compte dans les méthodes de conception suggérées pour les tuyaux en PVC.

Exigences d'assise / considérations de tranchées

En raison des faiblesses inhérentes des tuyaux en PVC, les conditions des assises sont beaucoup plus importantes que pour les tuyaux en fonte ductile. Une assise adéquate est nécessaire pour contrôler la déflexion, laquelle est le seul critère entrant dans la conception des tuyaux en PVC pour ce qui est des charges externes. Les normes traitant des pratiques d'installation recommandées pour les tuyauteries en plastique suggèrent que le tuyau soit entouré d'un sol dont les particules sont de taille minimale, de manière à pouvoir le compacter suffisamment pour développer des poussées de terres latérales passives et uniformes.[40] Le sol doit également être exempt de toute matière organique. Le fond de la tranchée doit être lisse et libre de grosses pierres, de gros amas de terre et de matières gelées, puisque de tels éléments pourraient causer une réduction de la résistance du tuyau en raison des égratignures ou abrasions qu'ils pourraient causer.[41]

L'excavation pour une tuyauterie sous pression doit se traduire par une tranchée au fond plat et lisse. Le concepteur, dans tous les cas, suppose qu'une condition d'assise égale et uniforme doit être fournie sur toute la longueur du tuyau. Cela réduit ainsi le potentiel de charges réparties ou concentrées sur la longueur du tuyau pendant son installation. Des trous pour recevoir les cloches des tuyaux sont nécessaires dans les sols qui ne sont pas suffisamment mous pour absorber la cloche et offrir quand même un appui uniforme le long du fût qui est requis pour tous les types de matériau. Si des trous pour recevoir les cloches des tuyaux ne sont pas effectués pour un tuyau en PVC, celui-ci pourrait courber ou des charges concentrées pourraient être exercées, créant des contraintes localisées supplémentaires sur le tuyau. De telles contraintes nuisent à la vie utile anticipée des tuyaux en PVC.

Le type de tranchée et le remblai requis dépendent de la rigidité, de la force et de la résistance du tuyau aux charges de tranchée. La plupart des concepteurs exigent une assise compactée et un remblai particulier sous et autour des conduites flexibles plus faibles comme celles en PVC. Dans certaines conceptions, le PVC exige un remblai particulier et une compaction là où un tuyau en fonte ductile plus fort n'en aurait pas besoin.

Les normes des tuyaux en fonte ductile et en PVC comprennent des conditions de pose pour l'installation de leurs produits respectifs. Il est intéressant de noter que les diagrammes montrés dans la norme d'installation du tuyau en PVC,[42] AWWA C605, ressemblent beaucoup à ceux indiqués dans la norme de conception des tuyaux en fonte ductile[43] AWWA C150. Même les descriptions de ces conditions de pose sont pratiquement identiques. Cependant, le premier coup d'œil ne révèle pas les

véritables différences dans ces conditions de pose; différences qui reflètent l'avantage d'installer un tuyau fabriqué avec un matériau plus robuste.

L'aspect le plus important d'une condition de pose se trouve dans les valeurs résultantes du « coefficient de réaction du sol » ou E' dans les normes. Une valeur empirique E' est utilisée pour classer le niveau d'appui que les sols de remblayage latéral offriront au tuyau pour supporter une charge externe. La tranchée offrant le meilleur appui pour un tuyau en PVC (type 5 selon la norme AWWA C605) suppose une valeur E' de 2 000 lb/po^2. Cette valeur offre un contraste saisissant avec la valeur E' d'un tuyau en fonte ductile qui s'élève à tout juste 700 lb/po^2 pour une même tranchée élémentaire (type 5 de la norme AWWA C150). Ainsi, le tuyau en PVC a besoin et dépend d'un appui du remblai de trois fois supérieur à celui d'un tuyau en fonte ductile. La valeur moins élevée reflète une moins grande dépendance du tuyau en fonte ductile sur la capacité de soutien d'une charge externe donnée par le remblai. Elle reflète également une connaissance plus pratique de ce qui peut être accompli habituellement sur les chantiers de construction. Une valeur E' de 2 000 lb/po^2 ne peut pas être atteinte sur toute la zone de pose du tuyau sans une installation et une compaction soignée du matériau de remblai granulaire choisi. Une valeur E' de 700 lb/po^2 peut être facilement obtenue avec beaucoup moins d'effort et de frais.

En raison de la résistance inhérente du tuyau en fonte ductile, les conditions de tranchée de type 1 (fond plat, remblai non compacté) ou de type 2 (fond plat, remblai légèrement compacté) conformes à la norme ANSI/AWWA C150/A21.50 conviennent à la vaste majorité des applications.

Déflexion des joints

Les conduites souterraines de services publics existantes se trouvent parfois dans des lieux inattendus et des obstructions imprévues sont souvent découvertes pendant la construction. Les ingénieurs de projets entrent alors en jeu et la conduite doit être réorientée et détournée pour éviter l'obstacle.

« Selon le diamètre du tuyau et le type de joint, la déflexion au joint pour les joints d'étanchéité de tuyau en PVC dans une condition sans contrainte varie d'environ un tiers de degré à cinq degrés », selon le manuel AWWA M23.[44] Les courbes exigeant une plus grande déflexion exigent des raccords spéciaux ou la déformation du tuyau lui-même, ce qui a pour résultat d'exercer une contrainte sur la paroi du tuyau.[45]

Toutefois, avec un tuyau en fonte ductile, aucune contrainte de joint n'est nécessaire pour obtenir une déflexion suffisante. Selon le diamètre du tuyau en fonte ductile, le joint à emboîtement a une déflexion allant jusqu'à 5° et le joint mécanique, une déflexion allant jusqu'à 8,3°.[46] Le tuyau en fonte ductile raccordé par des joints à rotule a une déflexion maximale allant jusqu'à 15° par joint pour des diamètres de tuyau allant jusqu'à 24 po. Dans les tuyaux dont le diamètre est de 30 po et plus, la déflexion maximale varie de 12,5° à 15°.[47]

Joints retenus

Comme les joints retenus ne sont pas facilement adaptables au tuyau en PVC, un nombre limité de moyens de retenue des joints est offert pour ce type de tuyau. De plus, comme tous les mécanismes de joint retenu pour tuyau en PVC sont dotés de bords rainurés ou cannelés qui pénètrent dans la paroi du tuyau, ils peuvent potentiellement causer des égratignures à la surface du tuyau. Avec le temps, ces égratignures peuvent dépasser les dix pour cent de l'épaisseur de paroi du tuyau faisant l'objet d'un avertissement dans la norme ANSI/AWWA C605. Ces systèmes peuvent aussi avoir pour résultat une contrainte localisée dans le tuyau en PVC qui peut réduire la durée de vie de celui-ci. Il faut se rappeler que des épaisseurs de tolérances de service et de moulage ont été ajoutées aux calculs de conception du tuyau en fonte ductile, mais pas à ceux du tuyau en PVC, malgré le fait que la résistance à la traction du tuyau en PVC est inférieure à celle du tuyau en fonte ductile. Par conséquent, de nombreuses installations exigent que des blocs de butée plutôt que des joints de retenue soient mis en place à tout changement de direction ou croisement de conduites pour les réseaux en PVC.

D'un autre côté, il existe un vaste éventail de joints retenus pour les tuyaux en fonte ductile, offrant ainsi au concepteur une plus grande flexibilité pour la conception et l'installation de réseau.

Localisation du tuyau

Puisque le PVC est un matériau non métallique, les détecteurs de métal ne peuvent pas localiser les tuyaux en PVC enfouis dans le sol. Par conséquent, il peut être très difficile de localiser le tuyau en PVC, la localisation doit être effectuée afin d'éviter des dommages. Lorsqu'on sait qu'un tuyau en PVC se trouve dans l'emprise, il faudra peut-être consacrer plus de temps pour creuser des trous afin de localiser le tuyau. À l'opposé, les tuyaux en fonte ductile sont facilement repérables avec les localisateurs de conduite couramment utilisés par la plupart des services publics.

Les services publics doivent fournir l'emplacement des réseaux existants aux personnes qui doivent creuser à proximité de ceux-ci. Des systèmes centralisés d'appel ont été créés afin d'aider à éviter les dommages aux installations souterraines existantes de services publics. Ainsi, le repérage des conduites est un élément important de l'exploitation et de la maintenance de tout réseau de tuyauterie. Comme il a été noté plus haut, il est facile et pratique de détecter les tuyaux en

fonte ductile avec presque tous les équipements de localisation offerts sur le marché. La localisation des tuyaux non métalliques est difficile. Des fils traceurs et des rubans d'excavation sont fréquemment installés afin de réduire le niveau de difficulté de localisation de ces tuyaux. Lors de l'utilisation de fils traceurs, ceux-ci doivent être testés après l'installation pour vérifier qu'ils sont électriquement conducteurs de façon continue d'un point d'accès à l'autre. En général, les points d'accès devraient se trouver au niveau des bouches à clé, des poteaux d'incendie, etc. Si les fils ne sont pas mis à l'essai, il est alors impossible de savoir si le système fonctionne lors de son installation. Comme solution de rechange à l'utilisation d'un fil traceur conducteur, un fil métallique de gros calibre qui peut être détecté par de l'équipement de détection traditionnel peut être utilisé.

Excavation à proximité

Un tuyau existant en PVC est beaucoup plus vulnérable qu'un tuyau en fonte ductile aux perforations ou dommages pouvant survenir pendant l'excavation et la construction de réseaux à proximité.

Flottabilité

Le tuyau en PVC flotte - ce qui est préoccupant lors de son installation dans des zones où la nappe phréatique est haute ou lorsqu'une inondation dans la tranchée est susceptible de se produire. Pour prévenir les dommages potentiels en raison d'un tuyau en PVC qui flotte, celui-ci doit être ancré. [48] La flottabilité n'est généralement pas une préoccupation lors de l'installation d'un tuyau en fonte ductile.

Exposition au soleil

Des mesures spéciales doivent être prises lorsqu'un tuyau en PVC est exposé au soleil sur une période prolongée, car « la surface d'un tuyau en PVC peut être endommagée par une exposition prolongée aux rayons ultraviolets (UV) du soleil ». Cette réaction est communément appelée « dégradation par les ultraviolets ».[49] Selon la norme AWWA C605, il peut s'avérer nécessaire de protéger contre les intempéries un tuyau en plastique entreposé à l'extérieur, conformément aux recommandations du fabricant. La protection doit permettre une circulation d'air dans et autour du tuyau.[50]

Le guide d'installation J-M stipule qu'une « lente décoloration peut se produire sur un tuyau en PVC lorsqu'il est exposé au soleil sur une période prolongée ». Cette décoloration est le signe d'une réduction possible de la résistance du tuyau aux chocs ».[51]

Bien que les effets à long terme de l'exposition au soleil sur les tuyaux en PVC n'ont pas été clairement déterminés, des changements évidents des propriétés du matériau se produisent puisque des avertissements sont fournis concernant sa résistance aux chocs.

Les tuyaux en fonte ductile ne sont pas vulnérables aux effets de l'exposition au soleil ni aux intempéries.

Perméabilité

Un problème peut également survenir dans les sols contaminés par des hydrocarbures comme l'essence ou d'autres produits chimiques. Les parois des tuyaux en plastique et les garnitures sont vulnérables à la perméabilité qui peut endommager le matériau et contaminer l'eau. Dans une étude réalisée par le Sanitary Engineering and Environmental Health Research Laboratory de l'Université Berkeley en Californie,[52] on a signalé que 15 % des incidents de perméabilité rapportés à l'occasion d'une recherche documentaire aux États-Unis concernaient des tuyaux en PVC. D'autres organismes ont également fait enquête sur des occurrences de ce phénomène.[53] Autre détail intéressant : le rapport de l'Université de Californie note également qu'auparavant les tuyaux en PVC avaient été « considérés comme étant relativement insensibles à la perméabilité ».[54]

D'un autre côté, cette étude ne révélait qu'un incident dans lequel un joint d'étanchéité avait été imprégné. Dans un tuyau en fonte ductile, la seule possibilité de perméabilité est au niveau du joint d'étanchéité. Le joint d'étanchéité utilisé dans les joints à emboîtement et les joints mécaniques est fabriqué en élastomère styrène butadiène (caoutchouc butadiène-styrène ou SBR). Même si le rapport de l'Université de Californie ne cite qu'une seule occurrence d'un joint d'étanchéité imprégné, des joints d'étanchéité fabriqués dans un matériau résistant à la perméabilité comme le nitrile ou le fluorocarbure doivent être spécifiés dans le cas de sols contaminés. Autrement dit, contrairement à un tuyau en fonte ductile, un tuyau en PVC ne peut pas être fabriqué pour résister aux perméats contenus dans certains sols.

Autre facteur environnemental

En guise d'observation finale concernant les considérations d'ordre environnemental, il est à noter que le PVC est fabriqué à partir de dérivés du pétrole, de chlore gazeux et de chlorure de vinyle, les deux dernières substances étant une source de préoccupation dans les milieux environnementaux, alors que la fonte ductile est fabriquée à partir de fer et d'acier recyclés.

Historique de rendement

Le rendement des tuyaux en fonte ductile s'étend à plus de 50 ans et, en raison de leur proche ressemblance physique avec les tuyaux en fonte grise, la longévité reconnue de la fonte grise peut être utilisée pour prédire la vie utile d'un réseau en fonte ductile.[55] Cette comparaison a été renforcée par des recherches exhaustives sur les taux de corrosion comparatifs entre la fonte ductile et la fonte grise, lesquelles ont démontré que la fonte ductile est au moins aussi résistante à la corrosion que la fonte grise.[56]

Conclusion

Cette brochure a présenté les facteurs majeurs à considérer par les ingénieurs concepteurs pour déterminer le type de matériau de tuyauterie à spécifier pour toute application donnée. Des preuves ont été présentées pour démontrer que les matériaux de tuyauterie ne sont pas tous équivalents. Dans chaque essai de résistance, de durabilité et de fiabilité, que ce soit pour les charges cycliques et la déflexion des joints en passant par les économies d'énergie et les prises sous pression, la fonte ductile s'est montrée supérieure au PVC. Les coûts exorbitants associés au remplacement précoce des conduites souterraines font que le choix initial par l'ingénieur du meilleur matériau disponible doit être la décision la plus économique à long terme. Les tuyaux en fonte ductile ont prouvé leur rendement — le produit a des antécédents de rendement qui remontent à plus de 50 ans — de plusieurs siècles en fait, si l'on considère le tuyau en fonte grise, son prédécesseur. Les tuyaux en fonte ductile ont les mêmes normes rigoureuses de conception et de fabrication pour tous les diamètres, et non pas des normes qui semblent surtout basées sur l'efficacité de la fabrication plutôt que sur la fiabilité et la sécurité du réseau pour l'utilisateur. Les ingénieurs concepteurs et les propriétaires ont traditionnellement considéré les tuyaux en fonte ductile comme étant le matériau offrant la meilleure qualité sur le marché. Nous estimons que cette brochure souligne certaines des raisons qui justifient cette réputation qui s'étend sur plusieurs décennies.

Références

1. ANSI/AWWA C150/A21.50-02, AWWA Standard for the Thickness Design of Ductile Iron Pipe, American Water Works Association, Denver, Colorado (2002).
2. AWWA C900-97, AWWA Standard for Polyvinyl Chloride (PVC) Pressure Pipe and Fabricated Fittings, 4 in. through 12 in., for Water Distribution, American Water Works Association, Denver, Colorado (1997).
3. AWWA C900-07, AWWA Standard for Polyvinyl Chloride (PVC) Pressure Pipe and Fabricated Fittings, 4 in. through 12 in., for Water Distribution, American Water Works Association, Denver, Colorado (2007).
4. AWWA C905-97, AWWA Standard for Polyvinyl Chloride (PVC) Pressure Pipe and Fabricated Fittings, 14 in. through 48 in., for Water Transmission and Distribution, American Water Works Association, Denver, Colorado (1997).
5. Les essais originaux ont été réalisés par la Robert W. Hunt Company, une firme d'essais de rendement indépendante, le 28/2/80 à Chicago. Des essais supplémentaires ont été réalisés à l'American Cast Iron Pipe Company à Birmingham le 21/3/90, 28/3/90, 4/4/90 et 20/2/91, et dont a été témoin Professional Service Industries, une firme d'ingénierie conseil indépendante.
6. Robert T. Hucks, Jr., « Design of PVC Water-Distribution Pipe », Civil Engineering, juin 1972, p. 73.
7. ANSI/AWWA C151/A21.51-02, American National Standard for Ductile Iron Pipe, Centrifugally Cast, for Water, American Water Works Association, Denver, Colorado (2002).
8. ANSI/AWWA C605-94, AWWA Standard for Underground Installation of Polyvinyl Chloride (PVC) Pressure Pipe and Fittings For Water, American Water Works Association, Denver, Colorado (1994).
9. AWWA Manual M23, PVC Pipe-Design and Installation, American Water Works Association, Denver, Colorado (2002).
10. ASTM D2412, « Standard Test Method for Determination of External Loading Characteristics of Plastic Pipe by Parallel-Plate Loading », American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvanie (2002).
11. ASTM D2152, « Standard Test Method for Adequacy of Fusion of Extrusion Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Pipe and Molded Fittings by Acetone Immersion », American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvanie (1995).
12. AWWA M23, p. 5.
13. AWWA M23, p. 5.
14. AWWA M23, p. 5.
15. AWWA M23, p. 5.
16. Handbook of PVC Pipe Design and Construction, Uni-Bell PVC Pipe Association, Dallas, Texas, 2001, p. 123.
17. ASTM D2837 « Standard Test Method for Obtaining Hydrostatic Design Basis for Thermoplastic Pipe Materials », American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvanie (2001).
18. AWWA M23, p. 2.
19. AWWA M23, p. 5.
20. Handbook of PVC Pipe Design and Construction, p. 127.
21. Handbook of PVC Pipe Design and Construction, p. 127.
22. Handbook of PVC Pipe Design and Construction, p. 218.
23. ANSI/AWWA C605-94, Section 5.3.
24. Handbook of PVC Pipe Design and Construction, pp. 218-236.

25. ASTM E23 « Standard Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials », American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvanie (2002).
26. AWWA M23, p. 5.
27. AWWA M23, p. 7.
28. « Direct Tapping Comparison: Ductile Iron Pipe Versus Polyvinyl Chloride Pipe », Ductile Iron Pipe News, automne/hiver 1987, pp. 8-11.
29. Handbook of PVC Pipe Design and Construction, p. 414. 13
30. AWWA M23, p. 99.
31. Blue Brute PVC Class Water Pipe Installation Guide, Johns-Manville, Denver, Colorado, 1979.
32. « Blackwood Flow Tests Prove Ductile Iron Pipe's Lower Head Loss », Ductile Iron Pipe News, automne/hiver 1986, pp. 8-9. « Flow Tests Show Lower Head Loss for Ductile Iron Pipe », Ductile Iron Pipe News, printemps/été 1986, pp. 12-13. « Flow Tests Confirm the Superiority of Ductile Iron Pipe vs PVCDuctile Iron Pipe News », automne/hiver 1999, pp. 16-18.
33. « Hydraulic Analysis of Ductile Iron Pipe », Ductile Iron Pipe News, automne/hiver 1997, pp. 12-17.
34. ANSI/AWWA C605-94, Section 2.2.
35. ANSI/AWWA C600-99, AWWA Standard for Installation of Ductile-Iron Water Mains and their Appurtenances, Section 4.7, American Water Works Association, Denver, Colorado (1999).
36. AWWA C900-97, Section 4.3.1 et AWWA C905-97, Section 4.3.1.
37. ANSI/AWWA C605-94, Section 2.1.3.
38. Hucks, p. 73.
39. Hucks, p.72.
40. AWWA M23, pp. 84-86.
41. ANSI/AWWA C605-94, pp. 6-7.
42. ANSI/AWWA C605-94, figure 1.
43. ANSI/AWWA C150/A21.50, figure 1 et tableau 2.
44. AWWA M23, p. 34.
45. AWWA M23, p. 34.
46. AWWA C600-99, pp.12-13.
47. Ductile Iron Pipe Subaqueous Crossings, Ductile Iron Pipe Research Association, Birmingham, Alabama, 2001.
48. AWWA C605-94, p. 6.
49. AWWA M23, p. 7.
50. AWWA C605-94, p. 4.
51. Blue Brute PVC Class Water Pipe Installation Guide, p. 7.
52. T.M. Holsen et collaborateurs « Contamination of Potable Water by Permeation of Plastic Pipe », Journal AWWA, août 1991, p. 56.
53. « Some Town Water Supplies Threatened », News Release, Montana Department of Environmental Quality, 17 mars 2000.
54. T.M. Holsen et collaborateurs, p. 56.
55. Environ 621 services d'utilités publiques américains et canadiens sont membres du Cast Iron Pipe Century Club pour avoir utilisé des tuyaux en fonte en service continu depuis 100 ans et plus. Vingt-trois services d'utilités publiques au moins ont reçu l'adhésion au Cast Iron Pipe Sesquicentennial Club pour avoir utilisé des tuyaux en fonte en service continu depuis 150 ans et plus.
56. E.C. Sears, « Comparison of the Soil Corrosion Resistance of Ductile Iron Pipe and Gray Cast Iron Pipe », Materials Protection, octobre 1968.

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 ULC
1757, Burlington Street East
Hamilton, Ontario Canada L8N 3R5

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 en fonte ductile SMART certified

Copyright © 2017 par la Ductile Iron Pipe Research Association

Résistance et **durabilité** pour la **vie**

dipra
Association de recherche sur les tuyaux en fonte ductile