

COMPARAISON ENTRE LES TUYAUX DE FONTE DUCTILE ET DE PVC

DIPRA
DIPRA
DIPRA
DIPRA[®]

COMPARAISON ENTRE LES TUYAUX DE FONTE DUCTILE ET DE PVC

Les matériaux utilisés dans la fabrication des divers tuyaux ne sont pas tous équivalents

Les ingénieurs concepteurs font face à une myriade de décisions lorsqu'ils conçoivent et prescrivent un réseau d'aqueduc, comprenant le coût initial du système, les exigences d'exploitation, les frais d'entretien, le degré de fiabilité et le rendement à long terme. Afin de leur faciliter la tâche, cette brochure comparera les caractéristiques structurales et de rendement des tuyaux de fonte ductile et de chlorure de polyvinyle (pvc) et fournira des données à jour et valides aux ingénieurs qui doivent établir une base pour le choix des matériaux utilisés dans un réseau de tuyauterie.

En plus de donner des résultats d'essais mécaniques comparant les matériaux des deux types de tuyaux, la brochure comparera aussi les normes techniques applicables publiées par l'AWWA pour chaque tuyau, y compris la norme ANSI/AWWA C150/A21.501 pour le tuyau de fonte ductile, ANSI/AWWA C9002 pour les tuyaux de petit diamètre en pvc et ANSI/AWWA C9053 pour les tuyaux de grand diamètre en pvc.

Le présent document questionnera aussi le fait qu'il existe deux normes différentes pour un même matériau soit le pvc. Alors que les normes visant la fonte ductile sont uniformes pour tous les diamètres, la norme C905 concernant les tuyaux de grand diamètre en pvc diffère grandement de la norme C900. Par exemple, la norme C905 prévoit une paroi plus mince, des facteurs de sécurité très réduits et aucune tolérance pour les surpressions.

Enfin, la brochure comparera les techniques d'installation et des questions pratiques visant l'utilisation de deux conduites de conception souple. Les données qui suivent proviennent de diverses sources, y compris des normes de l'AWWA, des publications de fabricants de tuyaux et d'associations, ainsi que d'essais mécaniques exécutés par des ingénieurs en recherche oeuvrant au sein de la Ductile Iron Pipe Research Association et de la Compagnie Robert W. Hunt.4

En résumé, cette brochure présentera des informations techniques valables qui prouveront que tous les matériaux utilisés dans les tuyauteries ne sont en fait pas équivalents.

Pourquoi existe-t-il des normes différentes pour un même matériau?

Les ingénieurs prescripteurs se demandent, et ce à juste titre, pourquoi les exigences de calcul et d'essai comportent-elles tant de différences importantes en ce qui concerne les tuyaux de pvc de petit et de grand diamètre?

La norme AWWA C905 (pvc de 14 à 48 pouces de diamètre), par exemple, prévoit un facteur de sécurité de 2.0 pour le calcul de la pression interne, ce qui est inférieur de 20% au facteur de sécurité de 2.5 imposé par la norme AWWA C900 dans le cas des tuyaux de petit diamètre (3 à 12 pouces).

Selon un porte-parole de l'industrie du pvc, « la faiblesse du tuyau de pvc est sa résistance limitée à la surpression. »⁵ Et, alors que la norme C900 visant le pvc comporte une tolérance pour surpression, la norme C905 visant les tuyaux de pvc de grand diamètre n'en prévoit aucune dans les calculs de pression nominale.

La pression nominale interne totale dans la norme C905 est inférieure à celle précisée dans la norme C900. Dans le cas de la norme C900, la base de calcul de la pression hydrostatique est la suivante : (HDB)/2.5 = pression de service + surpression. Pour ce qui est de la norme C905, la base (HDB)/2.0 = pression de service. Ainsi, on ne tient pas compte de la surpression et les facteurs de sécurité sont considérablement réduits.

Comparaison de l'épaisseur de paroi exigée par les normes C900 et C905 pour le pvc.

Une des façons qui permettent de s'apercevoir du niveau inférieur des exigences de calcul de la norme C905 par rapport à celles de la norme C900, est la comparaison de l'épaisseur de paroi. L'équation permettant d'établir l'effort circonférentiel pour le calcul de l'épaisseur nette requise pour supporter la pression interne est la suivante :

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

dans laquelle :

- t = épaisseur nette (po)
- P = pression nominale interne (lb/po²)
- D = diamètre du tuyau (po)
- S = contrainte admissible (lb/po²)

Par conséquent, l'épaisseur nette de paroi du tuyau augmente à mesure que le diamètre augmente pour une pression interne nominale constante. Cependant, le tuyau de pvc de 12 pouces de diamètre de classe 100 lb/po² (C900) a une épaisseur de paroi de 0.528 pouce alors qu'elle n'est que de 0.373 pouce dans le cas d'un tuyau de pvc de 14 pouces de diamètre de classe 100 lb/po² (C905) (soit inférieure à celle exigée pour un tuyau de plus petit diamètre en l'occurrence 12 pouces). Cela est contraire à tout raisonnement technique de base.

Classe pression 100 lb/po²/ Pression nominale

Pour le tuyau de pvc de 12 po de diamètre norme C900
t = .528"

Pour le tuyau de pvc de 14 po de diamètre norme C905
t = .373"

Une autre façon de comparer les données de calcul des normes C900 et C905 consiste à calculer l'épaisseur de paroi pour un tuyau de même diamètre, en utilisant les données techniques des deux normes. Pour un tuyau de classe pression 200 lb/po², la paroi d'un tuyau de pvc de 24 po de diamètre devrait mesurer 1.843 po selon la norme C900. Cependant, d'après la norme C905, l'épaisseur de paroi du même tuyau ne devrait être que de 1.229 po (épaisseur inférieure de 33% à celle de la norme C900)

Classe pression 200 lb/po²/ Pression nominale

Pour le tuyau de pvc de 24 po de diamètre norme C900
t = 1.843"

Pour le tuyau de pvc de 24 po de diamètre norme C905
t = 1.229"

(une réduction de 33% de l'épaisseur de paroi)

Tableau I - Comparaison des normes visant le tuyau de fonte ductile et de pvc

Sujet	Tuyau de fonte ductile ANSI/AWWA C150/A21.50 ANSI/AWWA C151/A21.516	Tuyau de pvc ANSI/AWWA C900	Tuyau de pvc ANSI/AWWA C905
Diamètre	3" - 64"	4" - 12"	14" - 48"
Longueur de pose	18' - 20'	20' ± 1"	20' ± 1"
Classe pression / pression nominale	Pouvant supporter jusqu'à 350 lb/po ² . Classes pression 150, 200, 250, 300 et 350. Possibilité de conception de tuyaux pouvant supporter des pressions plus élevées.	Pouvant supporter une pression de 100, 150 et 200 lb/po ² (DR 25, 18 et 14 respectivement) à une température de service de 73.4°F. Pour des températures de service plus élevées, la pression nominale doit être diminuée en conséquence.	Pouvant supporter une pression de 80, 100, 125 160, 165, 200, 235 et 300 lb/po ² (R 51, 41 32.5, 26, 25, 21, 18 et 14 respectivement) à une température de service de 73.4°F. Pour des températures de service plus élevées, la pression nominale doit être diminuée en conséquence.
Méthodes de calcul	Conçu comme un conduit flexible. Calcul distinct pour pression interne (équation d'effort circonférentiel) et 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 pression interne (équation d'effort circonférentiel) et charge externe (déflexion) charge externe non couverte par la norme. Effort de flexion non considéré.	Idem C900.
Calcul de la pression interne	Classe pression : effort dû à la pression de service + surpression ne peuvent dépasser la limite d'élasticité minimale de 42 000 lb/po ² ÷ facteur de sécurité de 2.0.	Classe pression: effort dû à la pression de service + surpression ne peuvent dépasser le HDB (4000 lb/po ²) ÷ facteur de sécurité de 2.5. (HDS = 1600 lb/po ²)	Pression nominale: effort dû à la pression de service ne peut dépasser le HDB (4 000 lb/po ²) ÷ facteur de sécurité de 2.0 (HDS = 2 000 lb/po ²).
Tolérance pour surpression	Tolérance nominale pour surpression de 100 lb/po ² calculée d'après un changement de vitesse instantané d'environ 2 pi/s; toutefois, les surpressions réelles prévues doivent être utilisées.	Tolérance pour surpression de 30, 35 ou 40 lb/po ² (pour DR 25, 18 et 14 respectivement). Calculée d'après un changement de vitesse instantané de 2 pi/s.	Aucune. La pression nominale doit être diminuée pour tenir compte de la surpression. La tolérance pour surpression basée sur un changement de vitesse instantané de 2 pi/s serait de 21, 23, 26, 29, 30, 32, 35 et 40 lb/po ² (pour les DR 51, 41, 32.5, 26, 25, 21, 18 et 14 respectivement).
Calcul de la charge externe	Charge de prisme + charge de camion. Effort de flexion annulaire limité à 48 000 lb/po ² ce qui représente la 1/2 de l'effort de flexion limite minimal. La déflexion est limitée à 3% du diamètre extérieur du tuyau, ce qui correspond à la 1/2 de la déflexion qui peut endommager le revêtement intérieur en mortier de ciment.	Pas de norme de calcul d'épaisseur pour le tuyau de pvc. La norme d'installation ANSI/AWWA C6057, établit une limite de 5% sur la déflexion transversale verticale. On fait référence à la norme AWWA M238 pour les méthodes de calcul. Charge de prisme + charge de camion. Utilise l'équation de déflexion modifiée de l'Iowa; cependant, on ne définit aucun facteur de sécurité.	Idem C900.
Charge transitoire	AASHTO H-20 charge de roue concentrée de 16 000 lb. Facteur de choc de 1.5 à toutes les profondeurs.	Le calcul n'est pas couvert par la norme. On fait référence à la norme AWWA M23 pour les méthodes de calcul. AASHTO-20 charge de roue de 16 000 lb. Facteur de choc de 1.1 pour des épaisseurs de remblai entre 2 et 3 pieds. Facteur de choc de 1.0 pour des épaisseurs de remblai de 3 pieds ou plus.	Idem C900.
Facteur de sécurité	Calcul de pression: 2.0 (y compris surpression) d'après la limite d'élasticité minimale en traction (42 000 lb/po ²) Calcul de la charge externe: 2.0 pour ce qui est de la flexion limite annulaire minimale (96 000 lb/po ²) ou 1.5 dans le cas de la flexion d'après la limite d'élasticité annulaire (72 000 lb/po ²). 2.0 pour la déflexion des tuyaux à revêtement intérieur en mortier de ciment. Note: Les facteurs de sécurité actuels sont plus grands que les facteurs de sécurité nominaux en raison de l'ajout des tolérances de service et de moulage dans le calcul.	Calcul de pression: 2.5 (y compris la surpression) d'après le HDB. Calcul de la charge externe: aucun facteur de sécurité ne peut être calculé. Pas de critères de charge externe. Note: Les facteurs de sécurité et la résistance sont grandement affectés par la température, les égratignures en surface et une exposition prolongée au soleil. Les tuyaux soumis à des charges cycliques ont des facteurs de sécurité plus faibles que ceux soumis à des charges statiques.	Calcul de pression: 2.0 (aucune surpression incluse) d'après le HDB. À l'alinéa 4.6.2, on indique d'être prudents dans les cas où les diamètres de tuyaux conformes à la norme C905 sont utilisés dans des systèmes de distribution car il pourrait être nécessaire de fixer le facteur de sécurité à 2.5 et d'ajouter une tolérance pour la surpression. Calcul de la charge externe: identique à la norme C900
Conditions de pose prescrites	Cinq conditions de pose prescrites (types 1 à 5). Approche conservatrice E' et paramètres pédologiques énumérés. Type 1 (fond plat, remblai lâche) ou type 2 (fond plat, remblai légèrement compacté jusqu'à la ligne médiane du tuyau) applicables dans la plupart des cas.	Non précisées dans la norme. La préface de la norme fait référence aux normes AWWA M23 et ANSI/AWWA C605. La norme C605 contient cinq conditions de pose définies comme « types d'enfouissement courants ». Ces types de tranchées ressemblent aux types de tranchées utilisées dans la norme pour le calcul d'épaisseur du tuyau de fonte ductile (AWWA C150); toutefois, la norme AWWA C605 utilise des valeurs de tranchée beaucoup moins conservatrices pour la constante K et le module de réaction du sol (E') pour les conditions de pose les plus courantes dans le cas du pvc.	Idem C900.
Essai hydrostatique	Chaque tuyau est soumis à une pression minimale de 500 lb/po ² pendant au moins dix secondes à pression maximale.	Chaque tuyau est soumis à un essai à 4 x la pression de la classe pendant au moins 5 secondes à pression maximale. Il y a une spécification (alinéa 5.1.14) à l'effet que « l'acheteur et/ou le fournisseur » doivent permettre au fabricant de mener des essais hydrostatiques pour les tuyaux à des fréquences d'essai « autres que les exigences spécifiées ». En d'autres mots, chaque tronçon de tuyau de pvc « n'a pas » à subir un essai de pression.	Chaque tuyau est soumis à un essai à 2 x la pression nominale prévue pendant au moins 5 secondes à pression maximale. Il y a une spécification (alinéa 5.1.14) à l'effet que « l'acheteur et/ou le fournisseur » doivent permettre au fabricant de mener des essais hydrostatiques pour les tuyaux à des fréquences d'essai « autres que les exigences spécifiées ». En d'autres mots, chaque tronçon de tuyau de pvc « n'a pas » à subir un essai de pression.
Essai en usine	Au moins un échantillon par période de moulage d'environ trois heures doit être soumis à un essai de résistance à la traction; doit présenter une limite d'élasticité minimale de 42 000 lb/po ² , une limite de rupture minimale de 60 000 lb/po ² et une elongation minimale de 10%. Il faut prélever au moins un échantillon à l'heure pour les essais de résistance aux chocs Charpy (min. 7 lb/pi) et pour un essai supplémentaire de résistance aux chocs à basse température (min. 3 lb/pi) parmi au moins 10% des échantillons provenant des essais Charpy normaux.	L'essai sous pression soutenue (1 000 heures) est exécuté deux fois par année à une pression égale à environ 3.25-3.5 fois la classe de pression. Résistance à l'éclatement instantané (à environ 5 fois la classe de pression) testée une fois par 24 heures. Résistance à l'aplatissement testée une fois toutes les 8 heures selon la norme ASTM D24129. Qualité de l'extrusion testée une fois toutes les 8 heures selon la norme ASTM D215210.	Résistance à l'aplatissement testée une fois toutes les 8 heures selon la norme ASTM D2412. Qualité de l'extrusion testée une fois toutes les 8 heures selon la norme ASTM D2152. Les essais d'éclatement instantané et de pression soutenue ne sont pas requis.

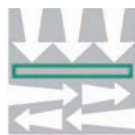
Comparaison des exigences des normes C900 et C905 en matière d'essais mécaniques

Non seulement les exigences de calcul ont été réduites dans la norme C905, mais également celles visant les essais mécaniques. Dans la norme C905, les exigences quant à la pression hydrostatique ont été réduites de moitié par rapport à celles de la C900. Dans la C900, les pressions utilisées pour les essais hydrostatiques sont équivalentes à quatre fois la classe de pression désignée. Dans la norme C905, d'autre part, elles n'équivalent qu'à deux fois la pression nominale désignée. De plus, on ne retrouve pas dans la norme C905 les exigences concernant l'essai d'éclatement instantané ou de pression soutenue requises par la norme C900.

Les révisions de 1997 des normes C900 et C905 incorporées dans une nouvelle section intitulée : « Exigences supplémentaires concernant les essais ». Le titre nous induit en erreur puisque la nouvelle section ne requiert pas de nouveaux essais. Elle offre, plutôt, à l'acheteur ou au fournisseur l'option de permettre au fabricant de faire des essais hydrostatiques sur le tuyau (et aussi sur les accouplements dans la C900) à des fréquences moindres que celles prescrites dans les sections appropriées des normes. Ces sections, concernant les essais de vérification exigent que « chaque longueur de tuyau standard ou non » et chaque accouplement soient soumis à un essai sous pression hydrostatique. Par conséquent, l'acheteur ou le fournisseur (qui peut être un distributeur ou un entrepreneur), peut prescrire, par exemple que seules les 10e ou les 100e longueurs de tuyaux soient soumises aux essais. Pour éviter que cette situation ne se produise les devis doivent exiger une certification de la part du fabricant à l'effet que chaque longueur de tuyau et chaque accouplement ont été soumis aux essais hydrostatiques conformément à la norme.

Ce ne sont là qu'une partie des exigences réduites dans la norme C905 pour les tuyaux de pvc de grand diamètre, ce qui pourrait donner un produit de qualité inférieure par rapport à celui qui serait conforme à la norme C900. Le tableau 1 fait ressortir des exemples de différences entre les normes C905 et C900 et établit des comparaisons avec les exigences des normes ANSI/AWWA C150/A21.50 et ANSI/AWWA C151/A21.51.

Le tuyau de fonte ductile présente une résistance à la traction de plus de 8 fois supérieure à celle du pvc.

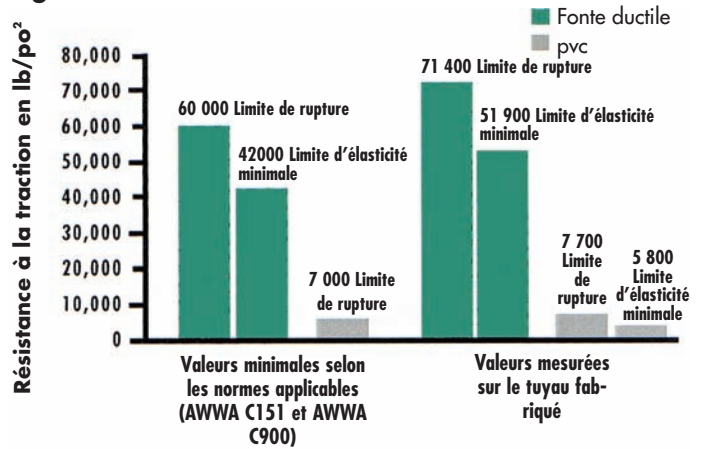


La résistance à la traction du matériau utilisé dans la fabrication du tuyau est une propriété de base très importante, puisque c'est elle qui permet au tuyau de résister aux forces imposées par la pression interne hydrostatique et les coups de bélier.

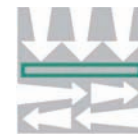
Dans la Figure 1, on compare la résistance à la traction d'un tuyau de fonte ductile à celle d'un tuyau de pvc. On y indique les valeurs nominales selon les normes applicables, de même que les résultats d'essai provenant de la mesure réelle prise sur des échantillons prélevés dans la paroi d'un tuyau de fonte ductile de classe 350* de 6 pouces de diamètre et d'un tuyau de pvc DR 18 (CP150) de 6 pouces de diamètre.

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

Figure 1 - Résistance à la traction



Des variations types de la température d'exploitation ou d'installation n'affectent pas la résistance du tuyau de fonte ductile



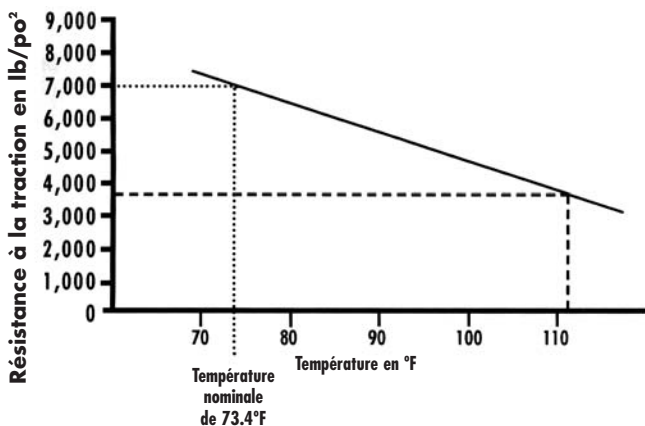
En raison du coefficient de dilatation thermique modéré et fiable de la fonte ductile, des variations dans la température de service ne créent que très peu de problèmes. De plus, dans une gamme type de variations de températures d'exploitation d'un réseau d'aqueduc (de 32°F à 95°F) ou même dans une gamme possible de températures d'installation (de -10°F à 110°F), on ne retrouve pas de modification significative de la résistance à la traction du tuyau de fonte ductile.

Cependant, en raison de son coefficient de dilatation thermique élevé, le rendement du tuyau de pvc est fortement lié à la température d'exploitation¹¹. De plus, dans le cas de réseaux dont la température de service dépasse 73.4°F, la résistance à la traction, la rigidité et la stabilité dimensionnelle du tuyau de pvc diminuent. Ainsi, la résistance à la pression du tuyau de pvc est réduite et on doit prendre plus de précautions au moment de l'installation pour éviter toute déflexion excessive¹².

Inversement, à des températures inférieures à 73.4°F, le pvc perd sa résistance aux chocs et devient moins ductile, exigeant que plus de précautions soient prises pour la manutention par temps plus froid¹³. Parce que le coefficient de dilatation thermique du pvc est d'environ cinq fois supérieur à celui de la fonte ductile¹⁴, il est évident que, lorsque exposé à des variations extrêmes de température, le tuyau de pvc présente des mouvements structuraux indésirables comme la déformation des joints ou leur démontage en raison de la dilatation ou de la contraction.

La Figure 2 montre le lien avec la température compte tenu d'une résistance à la traction standard de 7 000 lb/po² pour le pvc. À 110°F, la résistance à la traction du pvc est égale à environ la moitié de cette même résistance à 73.4°F.

Figure 2 - Résistance - Relation en fonction de la température pour le pvc



Le tuyau de fonte ductile résiste à une pression hydrostatique d'éclatement jusqu'à quatre fois supérieure à celle que peut supporter le tuyau de 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 d'éclatement moyenne pour un tuyau de fonte ductile de 6 pouces de diamètre de classe 350* et pour un tuyau de pvc DR 18 de 6 pouces de diamètre (CP 150). Veuillez noter que le tuyau de fonte ductile est offert dans des classes de pression allant jusqu'à 350 lb/po² dans tous les diamètres, de 3 pouces à 64 pouces. Aucun tuyau de pvc - conforme aux normes C900 ou C905 - n'est fabriqué dans des classes de pression aussi élevées que le tuyau de fonte ductile.

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

Figure 3 - Pression hydrostatique d'éclatement - Tuyau de fonte ductile et de pvc de 6" de diamètre

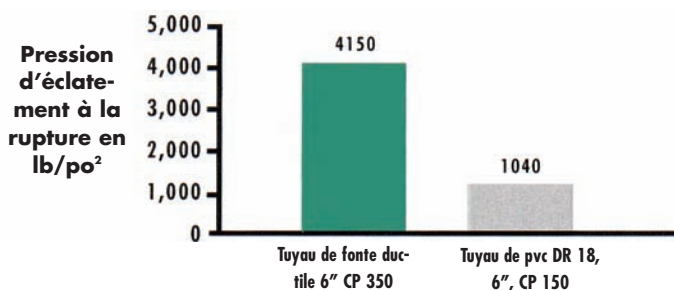
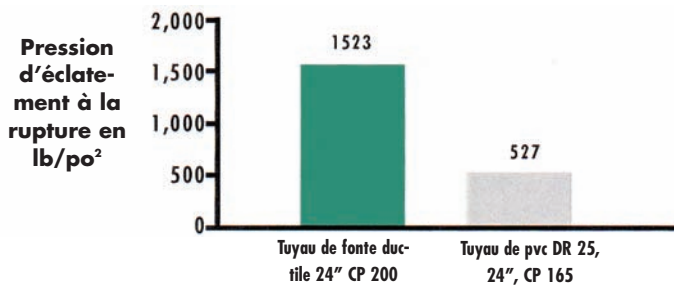


Figure 4 - Pression hydrostatique d'éclatement - Tuyau de fonte ductile et de pvc de 24" de diamètre



La Figure 4 compare la pression hydrostatique d'éclatement pour un tuyau de fonte ductile de 24" de diamètre, classe 200* et un tuyau de pvc DR 25 de 24" de diamètre (CP 165). Dans les essais de laboratoire, la pression d'éclatement moyenne pour le tuyau de fonte ductile de 24" était de 1 523 lb/po². Pour le tuyau de pvc, elle était de 527 lb/po², environ un tiers de celle du tuyau de fonte ductile.

* La classe de pression 200 est la classe minimale offerte pour un tuyau de fonte ductile de 24 pouces de diamètre.

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



Dans le cas du tuyau de fonte ductile, il n'existe pas de lien mesurable entre la force de traction appliquée et le temps avant la rupture. Ainsi, la résistance utilisée aux fins de calcul hydrostatique pour le tuyau de fonte ductile est la limite d'élasticité minimale en traction, soit 42 000 lb/po².

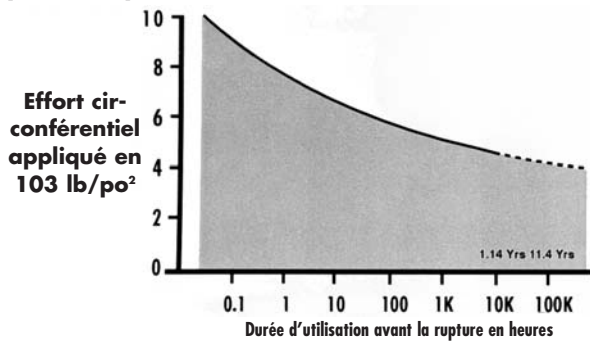
Le pvc répond à une contrainte en traction par la rupture, après une période de temps inversement proportionnelle à la contrainte appliquée. Ainsi, la résistance utilisée dans le calcul hydrostatique d'un tuyau de pvc est inférieure à la limite d'élasticité du matériau déterminé par un essai de courte durée.¹⁵ La valeur de résistance utilisée est appelée résistance à la pression hydrostatique à long terme et aussi connue sous le nom de Base de calcul hydrostatique (HDB).

Le coefficient HDB, qui est défini comme la contrainte provoquant la rupture après 100 000 heures (11,4 ans), est établi d'après les méthodes standard de l'ASTM par extrapolation des données recueillies lors d'essais pouvant durer jusqu'à 10 000 heures (1,14 an).¹⁶ Pour le composé de pvc utilisé dans le tuyau conforme à la norme C900 et C905, le HDB est de 4 000 lb/po².¹⁷ Le HDB sera inférieur à 4 000 lb/po² pour le tuyau de pvc utilisé à une température supérieure à 73.4°F.¹⁸

Étant donné qu'aucun service d'utilités publiques ne souhaite que ses travaux ne durent que 11,4 ans, un facteur de sécurité nominal est appliqué dans le cas de la résistance à la pression hydrostatique à long terme. Le facteur de sécurité nominal se fonde sur la norme d'après laquelle le tuyau est fabriqué. Dans le cas de la norme ANSI/AWWA C905, le facteur de sécurité est de 2.0. Pour la norme ANSI/AWWA C900, il est de 2.5, et comprend aussi une tolérance de surpression calculée d'après un changement de vitesse instantané de deux pieds par seconde. Ces deux méthodes de calcul ne sont basées que sur la pression hydrostatique et ne tiennent pas compte d'autres contraintes localisées qui peuvent se produire en cours d'installation ou d'exploitation à long terme, ni de fluctuations possibles de la pression. Toutefois, ces facteurs peuvent avoir un effet important sur la durée de vie du tuyau.

La figure 5 présente une courbe type de régression pour le tuyau de pvc sous pression. La courbe de régression relie les points de rupture qui montrent la capacité du pvc à supporter les contraintes en fonction de l'amplitude de la contrainte et de la durée d'application de celle-ci. Ainsi, la courbe de régression 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 courte est la durée de vie prévue du pvc.¹⁹

Figure 5 - Courbe de régression type pour un tuyau de pvc sous pression²⁰



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



Les différentes théories de calcul des tuyauteries enterrées prennent plus de sens lorsqu'on fait le lien avec les charges externes. Les tuyaux de fonte ductile et de pvc, étant des anneaux flexibles, répondent aux charges externes en fléchissant.²¹ L'interaction entre l'anneau défléchi et le sol environnant constitue le point complexe des théories de calcul.

La méthode de calcul pour le tuyau de fonte ductile est basée sur la limitation de l'effort de flexion annulaire et de la déflexion, alors que seul le paramètre utilisé dans le calcul du tuyau de pvc est la déflexion annulaire.

Les méthodes standards de calcul pour le tuyau de fonte ductile limitent à 3% la déflexion annulaire due aux charges externes. Cette limite qui se fonde sur la limite de rendement des revêtements intérieurs en mortier de ciment prescrits spécifiquement dans le cas des tuyaux de fonte ductile, comprend un facteur de sécurité explicite de 2. Ce calcul fait appel aux mêmes hypothèses conservatrices en ce qui concerne les paramètres pédologiques et les charges de terre que celles utilisées dans le calcul de l'effort de flexion.

La méthode de calcul suggérée dans le cas du pvc limite la déflexion annulaire à 5 pour cent²² - compte tenu des charges externes seulement.

Les deux méthodes de calcul, soit pour la fonte ductile et le pvc, emploient la formule de l'Iowa pour prédire la déflexion du tuyau.²³ Dans la formule de l'Iowa, la rigidité du tuyau et celle du remblai entourant le tuyau, contribuent à limiter la déflexion. Parce que le tuyau de pvc présente une rigidité de beaucoup inférieure à celle de la fonte ductile, l'importance de la rigidité du remblai est d'autant plus grande dans ce cas. Cela signifie que dans le cas du tuyau de pvc, l'inspection sur place de l'assise et de l'installation est encore plus essentielle.

L'essai d'écrasement d'un anneau sous plaques parallèles offre une comparaison simple de la résistance relative des deux types de matériaux. La Figure 6 compare la rigidité du tuyau obtenue grâce à de tels essais exécutés sur un tuyau de fonte ductile, de classe pression 350*, de 6 pouces de diamètre et un tuyau de pvc DR 18 de 6 pouces de diamètre (C900). De la même façon, la Figure 7 compare la rigidité d'un tuyau de fonte ductile de classe pression 200** et d'un tuyau de pvc DR 25 (C905), tous deux de 24 pouces de diamètre.

Figure 6 - Rigidité du tuyau Comparaison de tuyaux de 6 pouces de diamètre en FD et en pvc

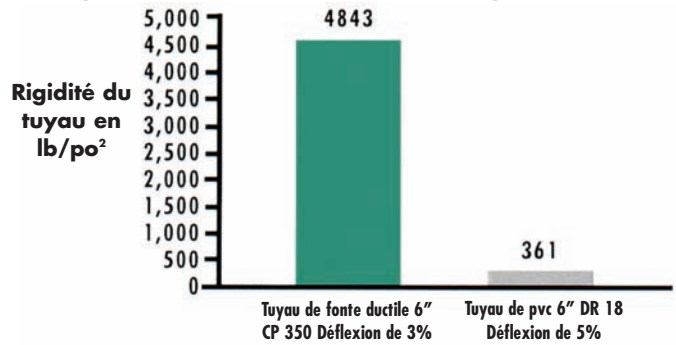
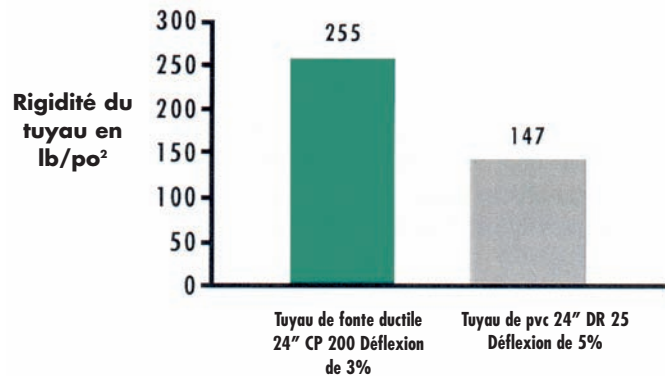


Figure 7 - Rigidité du tuyau Comparaison de tuyaux de 24 pouces de diamètre en FD et en pvc



La fonte ductile présente une résistance aux chocs de plus de 13 fois supérieure à celle du pvc

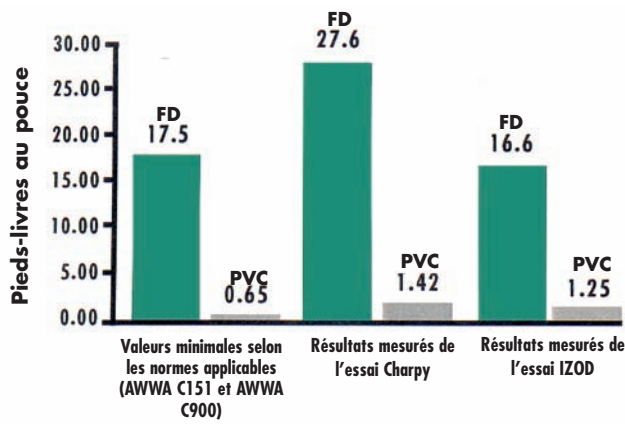


La résistance aux chocs est une autre caractéristique importante des matériaux pour tuyauteries. Bien que cette propriété soit surtout liée aux conditions auxquelles le tuyau sera exposé en cours de manutention, de livraison et d'installation, elle demeure néanmoins importante parce que les dommages produits au cours de ces activités peuvent passer inaperçus et résulter plus tard en un bris de la canalisation en service.

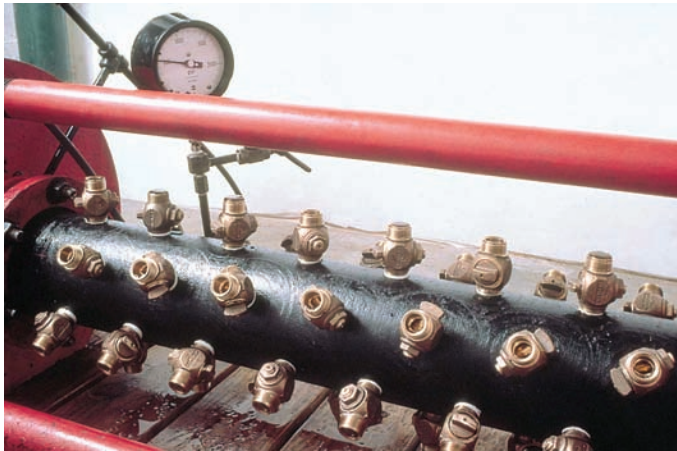
La figure 8 compare la résistance aux chocs prescrite et mesurée pour la fonte ductile et le pvc, qui ont subi les essais IZOD (poutre en porte-à-faux et Charpy (poutre simple).²⁴ Ces valeurs sont représentatives d'essais menés à une température de 73.4°F. Comme dans le cas de la résistance à la traction, il n'existe aucun lien mesurable entre la résistance aux chocs et la température dans les gammes prévues pour la fonte ductile. Cependant, le tuyau de pvc montre une diminution mesurable de la résistance aux chocs à des températures inférieures à 73.4°F.²⁵ La résistance aux chocs du pvc est également diminuée d'une façon mesurable, après que le tuyau ait subi une surexposition à la lumière du soleil - un point important quand on songe à l'entreposage des tuyaux de pvc.²⁶

*Classe de pression minimale offerte pour un tuyau de fonte ductile de 6" de diamètre.
 ** Classe de pression minimale offerte pour un tuyau de fonte ductile de 24" de diamètre.

Figure 8 - Résistance aux chocs



* Les valeurs minimales prescrites ne sont pas directement comparables en raison des écarts dans les profondeurs d'enfoncement précisées dans les normes.



L'exécution de prises sous pression est plus facile, moins dispendieuse, plus rapide et moins susceptible d'endommager le tuyau dans le cas de la fonte ductile que dans le cas du pvc.



DIPRA a exécuté des essais permettant de comparer les différents paramètres visés dans le cas des prises sous pression sur des longueurs de cinq pieds de tuyaux de fonte ductile de 6 pouces de diamètre de classe 350 et de tuyaux de pvc DR 14 de 6 pouces de diamètre (CP 200), y compris des essais d'étanchéité, des essais d'arrachement et des essais de charge en porte-à-faux.²⁷ Des prises ont été exécutées sur chaque type de matériau selon les recommandations du fabricant par le même opérateur. Les résultats suivent.

Essais d'étanchéité

Pour chaque matériau, une fois la prise exécutée sous une pression interne de 50 lb/po², on élève la pression par incréments de 25 lb/po² jusqu'à la pression nominale maximale pour chaque tuyau (350 lb/po² pour la fonte ductile de classe 350 et 200 lb/po² pour le pvc DR 14).

Huit prises de 3/4 pouce ont été exécutées sur cinq éprouvettes de pvc.

Tous les robinets de prise ont été serrés à 27 pi-lb selon les instructions du fabricant. Sur les huit prises sous pression, cinq présentaient des fuites avant que la pression interne maximale de 200 lb/po² ne soit atteinte. Toutes les fuites se sont produites à l'endroit du joint fileté entre le tuyau et le robinet de prise. Chacun des cinq joints qui fuyaient a été resserré à 35 pi-lb et la pression interne augmentée. Chacun de ces joints a continué de couler avant que la pression dans le tuyau n'atteigne la pression de service de 200 lb/po².

Selon le Handbook of PVC Pipe-Design and Construction, si un tuyau de pvc continue de fuir après que le robinet de prise ait été resserré à 35 pi-lb, la canalisation principale d'aqueduc doit être mise hors service, le robinet de prise enlevé, les filets inspectés et nettoyés, puis le robinet de prise réinstallé et serré à un couple de 27 pi-lb puis vérifié à nouveau.²⁸

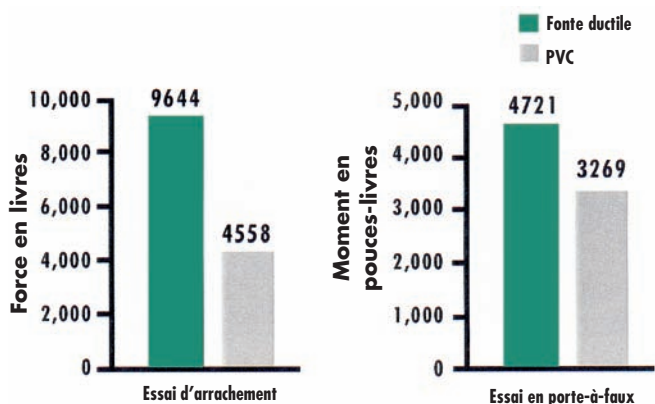
Des six prises directes de 3/4 pouce exécutées sur les éprouvettes de fonte ductile, qui ont été initialement serrées à un couple de 35 pi-lb, une seule coulait. Cette fuite a été observée à l'endroit du joint fileté sous une pression interne de 175 lb/po². Ce robinet de prise a alors été resserré à un couple de 40 pi-lb pour arrêter la fuite. Une fois ce robinet resserré, aucun des joints ne montrait de signes de fuite, même sous une pression de 500 lb/po², pression à laquelle on a mis fin aux essais.

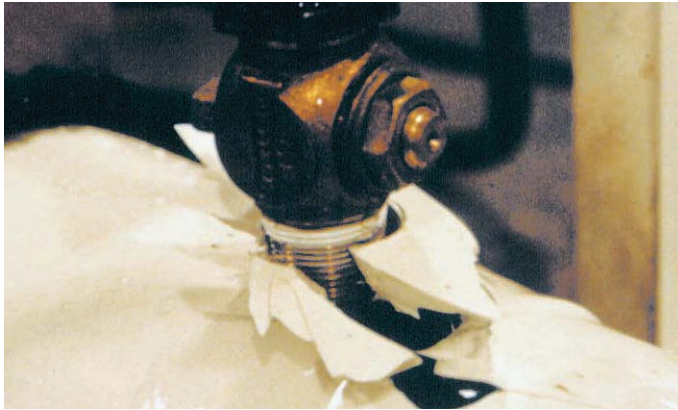
Conservation des robinets de prise

Un autre point de comparaison significatif est la vulnérabilité aux dommages des branchements de service. La Figure 9 montre le moment et la force d'arrachement requis pour arracher une prise de 3/4" sur un tuyau de 6 pouces en fonte ductile et en pvc, à la fois en traction et en porte-à-faux.

La différence remarquable entre les valeurs est d'autant plus significative, étant donné que les bris dans le cas des prises sur le tuyau de fonte ductile ne touchaient pas le tuyau, mais bien les robinets de prise en laiton. Dans les tuyaux n'ont subi aucun dommage. Dans chaque cas, les bris dans le cas des prises sur le tuyau de pvc touchaient la paroi même des tuyaux. Cette distinction est très importante quand on songe à la difficulté relative de réparer.

Figure 9 - Rétention des robinets de prise Charge moyenne entraînant le bris





Les recherches démontrent que la résistance des parois des tuyaux de fonte ductile dépassent celle des robinets de prise, à la différence des parois des tuyaux de pvc. Lorsque soumis à des charges d'arrachement ou en porte-à-faux, les prises sous pression n'occasionnent pas de bris de paroi des tuyaux de fonte ductile. Des photos d'essais d'arrachement effectués sur des tuyaux de pvc montrent que les fuites se produisent au niveau du raccord fileté vissé dans le tuyau, entraînant le bris de la paroi du tuyau autour du robinet de prise. Pendant les mêmes essais, des fuites se sont produites sur le tuyau de fonte ductile au niveau du bouchon du robinet de prise comme on le voit sur la photo, et non à l'endroit du raccordement fileté sur le tuyau. Le bris s'est produit au niveau du raccordement fileté de la tuyauterie de branchement et non du raccord fileté vissé sur le tuyau.

Utilisation de sellettes

La norme C900 visant les tuyaux de pvc exige l'utilisation de sellettes pour prises sous pression dans le cas de certaines épaisseurs de parois et l'intégrité des prises sous pression est discutable pour la plupart des épaisseurs de tuyaux de pvc. Les sellettes sont requises pour toutes les épaisseurs de tuyaux par la norme C905.²⁹ D'autre part, il est inutile d'utiliser des sellettes sur les tuyaux de fonte ductile employés pour les branchements domestiques normaux.

Avantages de réalisation de prises sous pression sur des tuyaux de fonte ductile

Lorsqu'on exécute des branchements de service sur des tuyaux de pvc, il est important de respecter les lignes directrices présentées dans la norme ANSI/AWWA C605 et dans les guides d'installation des fabricants.

La lecture des méthodes de réalisation de prises sous pression décrites dans le guide d'installation des tuyaux Brute Bleue de Johns-Manville (J-M)30 nous permet de relever plusieurs « choses à ne pas faire ». Par exemple :

- « Ne pas percer dans une partie du tuyau qui présente des signes de décoloration (brûlures par le soleil). »
- « Ne pas percer sur l'extérieur du rayon de courbure d'un tuyau qui a été courbé (défléchi) au-delà du rayon de courbure recommandé. »

- « Ne pas provoquer l'ovalisation ou toute autre déformation du tuyau en serrant trop fort la machine de perçage ou la sellette. »
- « Ne pas forcer le couteau au travers de la paroi du tuyau, faire les découpes lentement et utiliser le fouloir très légèrement. Ne pas utiliser de pâte lubrifiante ou d'autres scellants liquides pour filets. »

J-M a aussi d'autres réserves : Ne pas exécuter « de prises directes... sur du Brute Bleue si la température de service du système doit dépasser 85°F. » Mais, d'autre part, « L'exécution de prises directes par temps froid (sous 40°F) demande une attention particulière puisque le tuyau perd un peu de sa résilience et peut devenir plus fragile et sujet aux dommages s'il est maltraité en cours de manutention. Les dommages causés avant l'exécution de prises sous pression peuvent ressortir lors de cette opération. » Le guide d'installation J-M poursuit en fournissant des mesures de sécurité explicites pour exécuter des prises sous pression sur un tuyau de pvc : « Lorsqu'on exécute des prises sur un tuyau d'aqueduc en pvc, sous pression, il est recommandé de prendre des précautions de base pour éviter que les travailleurs ne soient blessés en cas d'un bris soudain et imprévu du tuyau. (En voici une liste:)

1. Ne pas descendre dans une tranchée ou un trou pour exécuter des prises sous pression sans qu'un autre travailleur ou un superviseur ne soit présent dans le voisinage immédiat.
2. En plus des vêtements de protection normaux, porter des lunettes ou un masque de protection.
3. Prévoir un moyen simple et rapide d'évacuation du lieu de travail en cas d'inondation. Il est recommandé d'utiliser une échelle robuste.
4. Le tuyau découvert dans la zone où seront effectuées les prises sous pression doit être recouvert d'une couverture de protection épaisse. Cette couverture doit mesurer environ 4 pieds x 6 pieds et comporter une ouverture au milieu pour permettre l'installation et l'actionnement de la machine de perçage. »

Selon ces instructions, il est nécessaire de faire une excavation de 4 pieds x 6 pieds pour recevoir la couverture de protection et bien exécuter une prise sous pression conformément aux instructions du fabricant. Contrairement au tuyau de fonte ductile, qui a été percé en toute sécurité lors de nombreux concours de perçage (prise sous pression), il existe des cas de gens blessés lors de l'exécution de prises sous pression sur des tuyaux de pvc. Si la courbure du tuyau ajoute des contraintes qui augmentent la possibilité de bris au moment du perçage, il est à espérer qu'une longueur suffisante du tuyau de pvc a été découverte pour permettre de discerner si le tuyau à percer a été courbé.



Le guide d'installation J-M prescrit des mesures de sécurité à prendre lors du perçage de tuyaux de pvc sous pression. Une d'entre elles consiste à « prévoir un moyen simple et rapide d'évacuation du lieu de travail en cas d'inondation. Il est recommandé d'utiliser une échelle robuste. » Dans le cas de bris de tuyaux de pvc comme celui-ci, une tel avertissement est nécessaire.

Caractéristiques de débit

Essais de débit

DIPRA a exécuté des essais de débit sur des canalisations en service à Blackwood au New Jersey, à Dothan en Alabama, et à Wister en Oklahoma, pour définir les valeurs représentatives du coefficient « C » de Hazen-Williams et comparer les caractéristiques générales de débit pour des tuyaux de fonte ductile et de pvc de 12" et de 18" de diamètre.³¹

Dans les essais menés à Blackwood sur des tuyaux de 12", le diamètre intérieur d'un tuyau de fonte ductile à revêtement intérieur en mortier de ciment était de 5,8 pour cent supérieur à celui du tuyau de pvc - ce qui donne une capacité de débit supérieure de 12 pour cent. Bien que le tuyau de pvc ait un coefficient « C » légèrement supérieur (indiquant une surface intérieure un peu plus lisse), la perte de charge était moins élevée pour la fonte ductile que pour le pvc, en raison du plus grand diamètre intérieur du tuyau de fonte ductile.

Dans les essais menés à Dothan sur des tuyaux de 12", le diamètre intérieur du tuyau de fonte ductile était de 5,4 pour cent supérieur à celui de l'éprouvette de pvc - soit une capacité de débit supérieure de 11,1 pour cent. Le diamètre intérieur inférieur du tuyau de pvc a eu pour effet une vitesse d'écoulement constante supérieure de 11,1 pour cent et une perte de charge supérieure de 23,5 pour cent à celle du tuyau de fonte ductile, alors que les tronçons de canalisations transportaient la même quantité d'eau.

Dans les essais de Wister sur des tuyaux de 18 po, le diamètre intérieur d'un tuyau de fonte ductile à revêtement intérieur en mortier de ciment était de 8,5 pour cent supérieur à celui du tuyau de pvc - ce qui donne une capacité de débit supérieure de 17,7 pour cent. Bien que le tuyau de pvc ait un coefficient « C » légèrement supérieur (140,6 contre 138,6), le diamètre intérieur inférieur du tuyau de pvc a eu pour effet une vitesse d'écoulement supérieure de 17,7 pour cent pour distribuer la même quantité d'eau avec une perte de charge résultante supérieure de 44,9 pour cent par rapport au tuyau de fonte ductile.

Économies d'énergie

Le diamètre intérieur plus grand du tuyau de fonte ductile permet en effet des économies d'énergie importantes, que ces économies soient calculées en fonction des frais de pompage ou des facteurs d'équivalence de tuyauterie.³²

Vu le diamètre intérieur plus grand que le diamètre nominal dans le cas du tuyau de fonte ductile et des frais de pompage résultants moins élevés, les services d'utilités peuvent épargner beaucoup sur les coûts d'énergie - et continuer à épargner de l'argent chaque année de la durée de vie de la canalisation.

En utilisant les théories d'équivalence de tuyauteries, les services d'utilités peuvent obtenir des économies immédiates avec le tuyau de fonte ductile. Vu la perte de charge moins élevée dans le cas du tuyau de fonte ductile, pour obtenir des canalisations de rechange en pvc ayant une perte de charge équivalente il faudrait recourir, sur certaines parties des réseaux, à des diamètres plus grands - ce qui par conséquent serait plus dispendieux. Par exemple, une canalisation en fonte ductile de 30 000 pieds de longueur faite de tuyaux de classe pression 200* et 24 po de diamètre distribuant 6 000 gallons par minute présenterait la même perte de charge totale qu'une canalisation de pvc de 23 920 pieds de longueur faite de tuyaux CP 165 de 24 po de diamètre plus 6 080 pieds de tuyaux de pvc de CP 165 de 30 po de diamètre.

* Classe pression minimale offerte pour ce diamètre de tuyau.

Autres considérations

Manutention du tuyau

Les fabricants de tuyaux de pvc revendiquent que ce tuyau est plus facile à transporter que le tuyau de fonte ductile puisque plus léger. On fait cependant trop de cas de ce prétendu avantage. Lorsque le tuyau est livré sur le chantier, il faut toujours le vérifier pendant qu'il est sur le camion pour détecter tout dommage et s'assurer que le chargement est bien attaché et qu'il peut être détaché en toute sécurité. Les normes et les manuels de l'AWWA concernant les tuyaux de pvc³³ et de fonte ductile³⁴ précisent de l'équipement et des méthodes spéciales pour manutentionner le tuyau et interdisent de rouler ou de jeter les tuyaux dans la tranchée. Le pvc est plus léger que la fonte ductile; cependant un tuyau de pvc DR 14 de 8 pouces pèse 230 livres, un poids non négligeable pour qu'une seule personne puisse le transporter. Un tuyau de pvc DR 18 de 12 pouces pèse environ 400 livres. Même deux hommes ne peuvent tenter de transporter une telle charge. Chaque service d'utilités ou entrepreneur peut avoir ses propres directives quant à la définition d'une charge sécuritaire pour une personne; cependant un poids de 200 livres dépasse la charge jugée sécuritaire pour la majorité des travailleurs. Ainsi, le même équipement est requis pour décharger de façon sécuritaire et descendre dans la tranchée les tuyaux de fonte ductile et de pvc.

Traitement des dommages

Comparativement au tuyau de fonte ductile, le pvc est un matériau très mou et, par conséquent beaucoup plus vulnérable à l'usure par abrasion, aux égratignures et aux autres dommages en cours de livraison et d'installation. De fait, les normes C900 et C905 déclarent que « la surface de tuyau doit être exempte d'entailles et d'égratignures marquées. »³⁵

De mauvaises méthodes de manutention des tuyaux de pvc peuvent entraîner des dommages dus aux chocs, des égratignures ou des entailles à la surface du tuyau. Si ces méthodes ont pour effet une égratignure ou une entaille sur plus de 10 pour cent de l'épaisseur de la paroi, la norme ANSI/AWWA C605 recommande le rejet du tuyau endommagé au moment de la livraison.³⁶ Si les dommages se produisent au moment de l'installation, la section endommagée doit être coupée et retirée. Sur un tuyau de pvc DR 18 de 12 po, une égratignure de 10 pour cent (0,05 po) équivaut environ à l'épaisseur d'une pièce de 10 cents! Il est recommandé qu'un inspecteur sur un chantier de pose de tuyaux de pvc soit muni d'un calibre approprié pour mesurer les dommages de ce type qui peuvent se produire lors de la manutention et de l'installation des tuyaux.

D'autre part, le tuyau de fonte ductile, est un matériau résistant qui ne subit en général pas d'égratignures ni de rainures par le type de manutention qui peut endommager le tuyau de pvc. De plus, la résistance aux rainures du matériau qui compose le tuyau, de même sa résistance à la traction/compression, deviennent d'autant plus importantes avec les nouvelles méthodes exigeantes de pose sans tranchée comme dans le cas du forage directionnel (HDD) ou d'installation sans tranchée par l'éclatement de tuyaux. En raison de la grande résistance et de la durabilité de la fonte ductile, il ne résulte aucune perte mesurable de résistance aux égratignures et rainures découlant d'une manutention normale.

Coups de bélier et charges cycliques

Les tuyaux de fonte ductile et de pvc sont tous deux soumis à des contraintes cycliques, dues aux coups de bélier causés par les changements de vitesse dans le réseau.

Le tuyau de fonte ductile possède une excellente résistance aux contraintes cycliques. Cependant, Robert T. Hucks a signalé que la base de calcul hydrostatique pour le pvc (c'est-à-dire le niveau de contraintes entraînant la rupture en 11,4 ans) est en fait moindre dans les conditions de charge cyclique que dans des conditions de charge statique.³⁷ De fait, M. Hucks a proposé d'utiliser une base de calcul hydrostatique pour charge cyclique qui limiterait les contraintes dans la paroi du tuyau de pvc à 1000 lb/po². Cela reflétait un facteur de sécurité de 1.5 à 1 en ce qui a trait à la limite de fatigue du tuyau de pvc, qui, comme l'a noté Hucks, était de 1500 lb/po² lors d'essais. Le nombre de cycles avant le bris est également réduit par les égratignures superficielles à un degré dépendant de leur gravité. Selon Hucks, les essais menés sur des tuyaux de plastique ont démontré qu'une égratignure de 0,01 po de profondeur et de 10 po de longueur sur un tuyau de 1 1/2 po de classe 160 lb/po² ramène le nombre de cycles avant bris de 52 000 à 9 600.³⁸ Cette épaisseur critique est d'environ 1/32 po pour un tuyau de pvc de 6 po de classe 150. On ne tient pas compte de cette propriété dans les méthodes de calcul suggérées pour les tuyaux de pvc.

Assises/Tranchées

En raison de faiblesses inhérentes au tuyau de pvc, les conditions des assises revêtent une plus grande importance que dans le cas du tuyau de fonte ductile. Une assise appropriée est requise pour maîtriser la déflexion, ce qui est le seul critère entrant dans le calcul du tuyau de pvc pour ce qui est des charges externes. Les normes traitant des méthodes d'installation recommandées pour les tuyauteries de plastique suggèrent que le tuyau soit entouré de sol composé de particules d'une taille minimale, de sorte qu'il puisse être compacté suffisamment pour produire des forces latérales passives uniformes.³⁹ Le sol doit également être exempt de matières organiques. Le fond de la tranchée doit être lisse et libre de grosses pierres, de grosses mottes de terre et de tout matériau gelé, puisque ces objets pourraient entraîner une diminution de la résistance, en raison des égratignures et de l'usure par abrasion qu'ils pourraient provoquer.⁴⁰

Les travaux d'excavation pour l'installation de tuyaux sous pression doit résulter en une tranchée lisse, à fond plat. Dans tous les cas, le concepteur prend pour acquis qu'on retrouve une assise d'alignement et uniforme sur toute la longueur du tuyau. Cela réduit la possibilité de retrouver des charges en poutre ou ponctuelles sur la longueur du tuyau en cours d'installation. Des trous destinés à recevoir les bouts femelles sont requis dans des sols qui ne sont pas suffisamment mous pour accepter le bout femelle tout en assurant tout de même un support uniforme le long du fût requis dans le cas de tuyaux faits de n'importe quel matériau. Dans le cas de tuyaux de pvc, si des trous ne sont pas prévus pour les bouts femelles, le tuyau pourra être courbé ou des charges ponctuelles appliquées ce qui imputera des contraintes localisées additionnelles au tuyau. De telles contraintes sont les ennemis d'une longue durée de vie pour le tuyau de pvc.

Le type de tranchée et de remblai requis dépend de la rigidité, de la résistance et de la capacité du tuyau à supporter les charges de tranchée. La plupart des concepteurs exigent une assise compactée et un remblai de choix sous et autour des conduits flexibles plus faibles. Dans certaines circonstances spéciales, le tuyau de pvc requiert un remblai spécial et des travaux de compactage alors que cela ne serait pas nécessaire dans le cas du tuyau de fonte ductile plus résistant.

Les normes pour les tuyaux de pvc et de fonte ductile incluent des conditions de pose pour l'installation de leurs produits respectifs. Ce qui est intéressant, c'est que les diagrammes présentés dans la norme d'installation du tuyau de pvc,⁴¹ AWWA C605, ressemblent beaucoup à ceux présentés dans la norme de calcul du tuyau de fonte,⁴² AWWA C150. Même les descriptions de ces conditions de pose sont presque

identiques. Cependant, un premier coup d'œil ne révèle pas les véritables différences entre ces conditions de pose - différences qui montrent bien les avantages d'installer un matériau plus résistant (tuyau).

On retrouve l'aspect le plus important d'une condition de pose dans le « Module de réaction du sol », ou la valeur E', dans les normes. Une valeur empirique, E', est utilisée pour classer le niveau de soutien que le matériau de remblai latéral offrira au tuyau dans le support d'une charge externe. La tranchée qui offre le plus de support au tuyau de pvc (type 5 de la norme AWWA C605) prévoit une valeur E' de 2000 lb/po². Cela fait contraste avec la valeur E' de seulement 700 lb/po², requise pour le tuyau de fonte ductile avec le même type de tranchée de base (type 5 de la norme AWWA C150). Ainsi, le tuyau de pvc s'attend à - et compte sur - un support venant du remblai équivalent à près de trois fois celui requis par le tuyau de fonte ductile. La valeur plus faible reflète une moins grande dépendance du tuyau de fonte ductile par rapport au remblai pour l'aider à supporter une charge externe donnée. Cela reflète aussi une connaissance plus pratique de ce qui peut être accompli de façon habituelle sur les chantiers de construction. Une valeur E' de 2 000 lb/po² ne peut être obtenue sur toute la zone de pose sans une installation et un compactage soignés d'un matériau de remblai granulaire de choix. Une valeur E' de 700 lb/po² peut être atteinte grâce à beaucoup d'efforts et de frais.

En raison de la résistance inhérente du tuyau de fonte ductile, des assises de type 1 (fond plat, remblai lâche) ou de type 2 (fond plat, remblai légèrement compacté) conformes à la norme ANSI/AWWA C150/A21.50 sont appropriées dans la majorité des cas.

Déflexion du joint

Les réseaux d'utilités souterrains existants se trouvent parfois en des endroits imprévus et d'autres obstacles inattendus sont souvent découverts en cours de construction. L'ingénierie de chantier entre alors en jeu, et les canalisations doivent être réorientées et détournées pour éviter l'obstacle.

« Selon le diamètre du tuyau et le modèle des joints, la déflexion à chaque joint dans le cas des joints à garnitures pour les tuyaux de pvc dans des conditions libres de contraintes, varie d'environ un tiers de degré à cinq degrés », d'après le Manuel AWWA M23.⁴³ Les courbes exigeant une déflexion plus grande demandent l'utilisation de raccords spéciaux ou la déviation du tuyau lui-même, ce qui place la contrainte sur la paroi du tuyau.⁴⁴

Dans le cas du tuyau de fonte ductile, cependant, il n'est pas nécessaire d'appliquer de contraintes sur le joint pour assurer une déflexion suffisante. Selon le diamètre du tuyau, le tuyau de fonte ductile à emboîtement offre une déflexion du joint jusqu'à 5° et celui à joints mécaniques jusqu'à 8,3°.⁴⁵ Le tuyau de fonte ductile muni de joints à rotule présente une déflexion maximale s'élevant jusqu'à 15° par joint dans tous les diamètres jusqu'à 24 po inclusivement; pour les diamètres de 30 po et plus, la déflexion maximale varie de 12 1/2° à 15°.⁴⁶

Joints retenus

Parce que les joints retenus ne sont pas facilement adaptables aux tuyaux de pvc, seul un nombre restreint de moyens de retenue des joints n'est disponible pour utilisation avec ce tuyau. De plus, parce que tous les mécanismes de retenue des joints de tuyaux de pvc comportent des extrémités rainurées ou dentelées qui creusent dans le tuyau, ils peuvent causer des égratignures en surface sur le matériau composant la tuyauterie. Avec le temps, ces rainures peuvent dépasser le 10 pour cent de l'épaisseur de la paroi contre laquelle la norme ANSI/AWWA met en garde. Ces systèmes peuvent occasionner des

contraintes localisées dans le pvc qui peuvent réduire la durée de vie du tuyau. Il faut se rappeler que des tolérances de service et de moulage sont prises en compte dans le calcul d'épaisseur supplémentaire lors de la conception du tuyau de fonte ductile et non pour le pvc - malgré le fait que la résistance à la traction soit inférieure pour le pvc que pour la fonte ductile. Par conséquent, plusieurs services d'utilités publiques exigent que les blocs de butée, plutôt que des joints de retenue, soient utilisés à tout changement de direction ou de surface de la section mouillée du réseau de canalisation de pvc.

D'autre part, une grande variété des joints de retenue est disponible dans le cas des tuyaux de fonte ductile, offrant au concepteur une plus grande souplesse du point de vue de la conception du réseau et de l'installation.

Repérage des tuyaux

Puisqu'il s'agit d'une matière non métallique, on ne peut utiliser des détecteurs de métal pour localiser une canalisation de pvc enfouie. Par conséquent, il est très difficile de repérer un tuyau de pvc; cependant, il faut le faire pour éviter des dommages. Lorsqu'on sait qu'un tuyau de pvc se trouve dans l'emprise, il faudra peut-être consacrer plus de temps pour creuser plusieurs trous afin de localiser le tuyau. Le tuyau de fonte ductile, pour sa part, peut être facilement repéré au moyen des dispositifs de détection traditionnels couramment utilisés par les services d'utilités.

Les services d'utilités doivent fournir l'emplacement sur le chantier des réseaux existants à toute personne qui doit creuser dans les environs. Des systèmes centralisés d'appel ont été mis sur pied pour aider à éviter que des dommages ne soient causés à des réseaux d'utilités existants et souterrains. Ainsi, le repérage des tuyauteries est une partie importante de l'exploitation et de l'entretien futurs d'un réseau de tuyauterie. Comme indiqué ci-dessus, il est facile et utile de repérer les tuyaux de fonte ductile au moyen de presque tous les moyens de détection disponibles sur le marché. Au mieux, le repérage de tuyaux non métalliques est difficile. Très souvent, des fils de traçage et des rubans d'excavation sont installés afin de réduire le niveau de difficulté du repérage de ces tuyaux. Lorsque des fils de traçage sont utilisés, il faut les mettre à l'essai après installation pour s'assurer qu'ils présentent une continuité électrique d'un point d'accès à l'autre. D'habitude les points d'accès seraient situés aux boîtes de vannes, bornes d'incendie, etc. Si les fils ne sont pas mis à l'essai, alors on ne sait pas si le système fonctionne lors de son installation initiale. Comme solution de rechange, il est possible d'utiliser un fil métallique de gros calibre qui peut être détecté au moyen de l'équipement de détection traditionnel.

Excavation dans le voisinage

Le tuyau de pvc existant est beaucoup plus vulnérable que le tuyau de fonte ductile, aux perforations ou aux dommages causés par des travaux de creusage de tranchée et de construction de réseaux de canalisations dans le voisinage.

Flottabilité

Le tuyau de pvc flotte - une préoccupation au moment d'installer le tuyau dans des endroits où la nappe d'eau est près de la surface du sol ou dans des tranchées susceptibles d'être inondées. Pour éviter d'avoir à reprendre le travail d'enfouissement, d'une tuyauterie à cause de la flottaison du tuyau, ce dernier doit être ancré.⁴⁷ La flottabilité n'est généralement pas une source de préoccupations dans le cas du tuyau de fonte ductile.

Exposition au soleil

Des mesures spéciales doivent être prises lorsque le tuyau de pvc est exposé au soleil pendant une longue période, parce que « lorsqu'il est soumis à une exposition à long terme aux rayons ultraviolets (UV) provenant de la lumière du soleil, le tuyau de pvc peut subir des dommages en surface. Cet effet est généralement désigné sous le nom de « dégradation par ultraviolets (UV). »⁴⁸ Selon la norme AWWA C605, « si le tuyau de plastique est entreposé à l'extérieur, il doit être protégé des intempéries conformément aux recommandations du fabricant. La protection doit permettre la circulation d'air dans le tuyau et autour de celui-ci. »⁴⁹

Le Guide d'installation J-M précise que « lorsque le pvc est exposé au soleil pour de longues périodes, une lente décoloration du tuyau pourrait se produire. Cette décoloration est une indication d'une possible diminution de la résistance aux chocs. »⁵⁰

Bien que les effets à long terme sur le tuyau de pvc d'une exposition à la lumière du soleil n'aient pas encore été clairement définis, il est évident que des modifications des propriétés du matériau se produisent étant donné que des avertissements concernant la résistance aux chocs sont émis.

Le tuyau de fonte ductile n'est pas affecté par une exposition à la lumière du soleil ou aux intempéries.

Perméance

Il y a aussi un problème lorsque le sol est contaminé par des hydrocarbures comme l'essence ou d'autres produits chimiques. Les parois des tuyaux de plastique et les garnitures sont vulnérables à la perméance qui peut endommager le tuyau et contaminer l'eau. Dans une étude menée par le Sanitary Engineering and Environmental Health Research Laboratory à l'Université de Californie, à Berkeley,⁵¹ on a signalé avoir trouvé au cours d'une recherche documentaire à travers les États-Unis, que le pvc était impliqué dans 15 pour cent des incidents de perméance. D'autres agences ont aussi recherché des occurrences de ce phénomène.⁵² Ce qui est intéressant, c'est que le rapport de l'Université de Californie note de plus que, jusqu'alors, le tuyau de pvc « avait été considéré comme immunisé contre la perméance... »⁵³

Par contre, cette étude n'a révélé qu'un incident relié à la perméance d'une garniture. Dans le cas du tuyau de fonte ductile, la seule possibilité de perméance touche la garniture. La garniture standard utilisée dans les joints à emboîtement et mécaniques est faite d'un élastomère à base de styrène - butadiène (SBR). Bien que l'Université de Californie ne cite qu'un cas de garniture touchée par la perméance, si des sols contaminés sont signalés en cours de conception, des garnitures faites de matériaux résistants à la perméance comme le Nitrile ou les fluorocarbures pourraient être prescrits. En d'autres mots, alors que le tuyau de pvc ne peut être rendu résistant aux sols contenant des produits infiltrants, les tuyauteries de fonte ductile peuvent l'être.

Un autre facteur environnemental

En guise d'observation finale pour ce qui est des facteurs environnementaux, il faut noter que le pvc est fait de dérivés du pétrole, de chlore gazeux et de chlorure de vinyle, les deux dernières substances constituant des préoccupations dans les cercles environnementaux, alors que le tuyau de fonte ductile est fabriqué à partir de ferraille de fer et d'acier recyclés.

Historique du rendement

L'histoire du rendement du tuyau de fonte ductile s'étend sur une période de plus de 45 ans, et à cause de la grande similitude entre ses caractéristiques matérielles et celles de la fonte grise, le dossier la long terme de la fonte grise peut être utilisé pour prédire la durée de vie d'un réseau en fonte ductile.⁵⁴ Cette comparaison a été soutenue par une recherche approfondie sur les taux comparatifs de corrosion entre la fonte ductile et la fonte grise, qui a démontré que la fonte ductile est à tout le moins aussi résistante à la corrosion que la fonte grise.⁵⁵

Conclusion

Cette brochure a présenté les principales questions auxquelles doivent faire face les ingénieurs concepteurs au moment de décider du matériau pour tuyauterie à prescrire pour un type donné d'application. Des explications ont été fournies prouvant que tous les matériaux ne sont pas équivalents. Dans chaque essai de résistance, de durabilité et de fiabilité que l'on regarde les charges cycliques et la déflexion des joints ou encore les économies d'énergie et les prises sous pression, la fonte ductile a démontré sa supériorité par rapport aux tuyaux de pvc.

Les coûts exorbitants associés au remplacement prématuré de canalisations enterrées, fait en sorte que le choix initial de l'ingénieur quant au meilleur matériau disponible, doit représenter la décision la plus économique à long terme.

La fonte ductile a fait ses preuves de rendement - un produit ayant une histoire de plus de 45 ans - plusieurs siècles si on prend en considération son prédécesseur : la fonte grise.

À la différence du pvc, la fonte ductile doit respecter les mêmes normes strictes de conception et de fabrication pour tous les diamètres, et non des normes basées sur la performance du fabricant plutôt que sur la fiabilité et la sécurité du réseau pour l'utilisateur.

Par tradition, les ingénieurs concepteurs et les propriétaires ont considéré le tuyau de fonte ductile comme étant le matériau de qualité supérieure parmi les choix offerts. Nous croyons que la présente brochure a fait ressortir quelques-unes des raisons qui justifient la réputation que la fonte ductile a acquis au cours des décennies.

Références

¹ANSI/AWWA C150/A21.50-02, *AWWA Standard for the Thickness Design of Ductile Iron Pipe*, American Water Works Association, Denver, Colorado (2002).

²AWWA 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).

³AWWA 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).

⁴Les essais originaux ont été menés par la Robert W. Hunt Company, une firme indépendante d'essais, le 28/2/80 à Chicago. D'autres essais ont été exécutés chez American Cast Iron Pipe Company à Birmingham les 21/3/90, 28/3/90, 4/4/90 et 20/2/91 sous la surveillance des Professional Service Industries, une firme indépendante d'ingénieurs-conseils.

⁵Robert T. Hucks, Jr., « *Design of PVC Water-Distribution Pipe*, » *Civil Engineering*, juin 1972, p.73.

⁶ANSI/AWWA C151/A21.51-02 *American National Standard for Ductile Iron Pipe, Centrifugally Cast, for Water*, American Water Works Association, Denver, Colorado (2002).

⁷ANSI/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).

⁸AWWA Manuel M23, *PVC Pipe-Design and Installation*, American Water Works Association, Denver, Colorado (2002).

⁹ASTM 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).

¹⁰ASTM D2152, « Standard Test Method for Adequacy of Fusion or Extrusion Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Pipe and Molded Fittings by Acetone Immersion, » American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvanie (1995).

¹¹AWWA M23, p.5.

¹²AWWA M23, p.5.

¹³AWWA M23, p.5.

¹⁴AWWA M23, p.5.

¹⁵*Handbook of PVC Pipe Design and Construction*, Uni-Bell PVC Pipe Association, Dallas, Texas, 2001, p.123.

¹⁶ASTM D2837 « Standard Test Method for Obtaining Hydrostatic Design Basis for Thermoplastic Pipe Materials, » American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvanie, (2001).

¹⁷AWWA M23, p.2.

- ¹⁸AWWA M23, p.5.
- ¹⁹*Handbook of PVC Pipe Design and Construction*, p.127.
- ²⁰*Handbook of PVC Pipe Design and Construction*, p.127.
- ²¹*Handbook of PVC Pipe Design and Construction*, p.218.
- ²²ANSI/AWWA C605-94, Section 5.3.
- ²³*Handbook of PVC Pipe Design and Construction*, pp.218-236.
- ²⁴ASTM E23 « Standard Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, » American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvanie, (2002).
- ²⁵AWWA M23, p.5.
- ²⁶AWWA M23, p.7.
- ²⁷« Direct Tapping Comparison : Ductile Iron Pipe Versus Polyvinyl Chloride Pipe, » *Ductile Iron Pipe News*, Automne/Hiver 1987, pp.8-11.
- ²⁸*Handbook of PVC Pipe Design and Construction*, p.414.
- ²⁹AWWA M23, p.99.
- ³⁰*Blue Brute PVC Class Water Pipe Installation Guide*, Johns-Manville, Denver, Colorado, 1979.
- ³¹« 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 PVC, » *Ductile Iron Pipe News*, Automne/Hiver 1999, pp.16-18.
- ³²« Hydraulic Analysis of Ductile Iron Pipe, » *Ductile Iron Pipe News*, Automne/Hiver 1997, pp.12-17
- ³³ANSI/AWWA C605-94, Section 2.2.
- ³⁴ANSI/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).
- ³⁵AWWA C900-97, Section 4.3.1 et AWWA C905-97, Section 4.3.1.
- ³⁶ANSI/AWWA C605-94, Section 2.1.3.
- ³⁷Hucks, p.73.
- ³⁸Hucks, p.72.
- ³⁹AWWA M23, pp.84-86.
- ⁴⁰ANSI/AWWA C605-94, pp.6-7.
- ⁴¹ANSI/AWWA C605-94, Figure 1.
- ⁴²ANSI/AWWA C150/A21.50, Figure 1 et tableau 2.
- ⁴³AWWA M23, p.34.
- ⁴⁴AWWA M23, p.34.
- ⁴⁵AWWA C600-99, pp.12-13.
- ⁴⁶*Ductile Iron Pipe Subaqueous Crossings*, Ductile Iron Pipe Research Association, Birmingham, Alabama, 2001.
- ⁴⁷AWWA C605-94, p.6.
- ⁴⁸AWWA M23, p.7.
- ⁴⁹AWWA C605-94, p.4.
- ⁵⁰*Blue Brute PVC Class Water Pipe Installation Guide*, p.7.
- ⁵¹T.M. Holsen, et al. « Contamination of Potable Water by Permeation of Plastic Pipe, » *Journal AWWA*, Août 1991, p.56.
- ⁵²« Some Town Water Supplies Threatened, » News Release, Montana Department of Environmental Quality, March 17, 2000.
- ⁵³T.M. Holsen, et al, p.56.
- ⁵⁴Près de 581 services d'utilités publiques américains et canadiens font partie du Cast Iron Pipe Century Club en leur qualité de détenteur d'un réseau d'aqueduc en fonte en service continu depuis un siècle ou plus. Au moins 20 services d'utilités publiques sont devenus membre du Cast Iron Pipe SesquiCentury Club à titre de détenteur d'un réseau d'aqueduc en fonte en service continu depuis 150 ans ou plus.
- ⁵⁵E.C. Sears, « Comparison of the Soil Corrosion Resistance of Ductile Iron Pipe and Gray Cast Iron Pipe, » *Materials Protection*, Octobre 1968.

COMPAGNIES MEMBRES DE LA DIPRA

American Cast Iron Pipe Company
P.O. Box 2727
Birmingham, Alabama 35202-2727

Atlantic States Cast Iron Pipe Company
183 Sitgreaves Street
Phillipsburg, New Jersey 08865-3000

Canada Pipe Company Ltd.
1757 Burlington Street East
Hamilton, Ontario L8N 3R5 Canada

Clow Water Systems Company
P.O. Box 6001
Coshocton, Ohio 43812-6001

Griffin Pipe Products Co.
1400 Opus Place, Suite 700
Downers Grove, Illinois 60515-5707

McWane Cast Iron Pipe Company
1201 Vanderbilt Road
Birmingham, Alabama 35234

Pacific States Cast Iron Pipe Company
P.O. Box 1219
Provo, Utah 84603-1219

United States Pipe and Foundry Company
P.O. Box 10406
Birmingham, Alabama 35202-0406

DUCTILE IRON PIPE

RESEARCH ASSOCIATION



Une association regroupant des fabricants de qualité respectant les plus hautes normes en matière de tuyaux grâce à un programme de recherche continu.

245 Riverchase Parkway East, Suite 0
Birmingham, Alabama 35244-1856
Tél. : 205 402-8700 Téléc. : 205 402-8730
<http://www.dipra.org>

LE TUYAU DE FONTE DUCTILE **LE MEILLEUR CHOIX**



Fabriqué à partir de produits recyclés