

The Pipeline

Nouvelles de DIPRA



Charleston Water System

Essai de débit d'un tuyau revêtu de mortier de ciment en service depuis 1922 (97 ans)

Charleston Water System, à Charleston en Caroline du Sud, a permis à DIPRA d'évaluer à quatre occasions le premier tuyau en fonte avec un revêtement intérieur en mortier de ciment à avoir été installé en Amérique du Nord. Le dernier test a eu lieu le 19 novembre 2019.

Avec la coopération exceptionnelle de Charleston Water System, DIPRA a confié le contrat à M.E Simpson Co. d'effectuer des tests d'écoulement sur quelques 300 pieds de tuyaux sur la rue Grove à Charleston. Cette conduite, installée en 1922, a été la première conduite en fonte à être fournie avec un revêtement en mortier de ciment. Contrairement aux revêtements d'aujourd'hui, qui sont appliqués pendant le processus de fabrication des tuyaux, cette première application de mortier de ciment a été faite lors de l'installation de la conduite, à l'aide d'un projectile tiré à l'intérieur du tuyau avant sa mise en service¹.

Cette conduite avait été testée trois fois avant 2019: en 1973, en 1981, et en 1999. Ces tests ont été effectués à l'aide de manomètres individuels pour obtenir le différentiel de pression et un levé de niveau pour déterminer la différence d'élévation aux deux extrémités de la section de tuyau. Le tuyau a été percé afin qu'un pied à coulisse puisse être inséré pour mesurer le diamètre intérieur du tuyau et un tube de Pitot pour mesurer la vitesse d'écoulement. La résultante C pour ces tests, variant entre 130 et 131, fait partie d'un ensemble de données documentées.

La réalisation de ces tests apporte une réelle valeur. DIPRA obtient des données de terrain définitives pour confirmer sa recommandation, et les services publics participants, tels que le Charleston Water System, apportent une contribution importante à une base de connaissances mise à la disposition de tous les services publics. Parce qu'il s'agit d'une conduite emblématique – la première conduite en fonte avec revêtement en mortier de ciment en service depuis près d'un siècle – DIPRA a enregistré ce test historique dans une vidéo, disponible au lien suivant: www.dipra.org/ductile-iron-pipe/pipeline/flow-test-of-97-year-old-cement-mortar-lined-pipe.

Perspective

Mesurer la pression dans une conduite

En 1729, Daniel Bernoulli a réalisé une percée significative dans son étude d'écoulement des fluides à travers les tuyaux en insérant une petite paille de verre dans la paroi d'une conduite d'eau sous pression. En regardant la paille se remplir d'eau, il a été le premier à mesurer la pression d'un fluide s'écoulant dans un tuyau. Cela a conduit à deux développements importants: les médecins avaient un moyen de mesurer la pression artérielleⁱ et le développement du principe de Bernoulli selon lequel, à tout moment dans un conduit, l'énergie totale est constante.ⁱⁱ

Bien sûr, lorsque des mesures sont prises entre deux points d'un conduit, il y a toujours une différence; l'énergie est perdue - c'est ce qu'on appelle la perte de charge.

Prédire la perte de charge – l'équation de Hazen-Williams

La recherche sur le sujet de la perte de charge nous a donné plusieurs modèles qui prédisent combien de perte de charge doit être surmontée lors de la conception d'un réseau. Dans les systèmes d'eau, la méthode la plus populaire pour prédire la perte de charge consiste à utiliser une équation développée en 1905 par Allen Hazen et Gardner Stewart Williamsⁱⁱⁱ. L'équation de Hazen-Williams repose sur une constante empirique sans dimension, C, qui décrit la régularité relative de la surface intérieure d'un tuyau. Plus la surface intérieure est lisse, plus la valeur de C est élevée et plus la perte de charge prévue est faible.

C'est pourquoi DIPRA, avec l'aide et la coopération de nombreux services publics d'eau, a effectué des dizaines d'essais d'écoulement sur des tuyaux en fonte en service, revêtus de mortier de ciment. Ces tests fournissent une base pour notre valeur du coefficient C recommandée de 140 pour les tuyaux en fonte ductile revêtus de mortier de ciment. Nous avons renforcé cette recommandation en effectuant des tests sur des conduites de différents systèmes d'eau en opération depuis des années. Nous avons également profité de l'occasion pour tester les mêmes conduites plus d'une fois sur une période de plusieurs années, confirmant que le revêtement en mortier de ciment a une longévité fiable.

ⁱ C'est ainsi que la pression artérielle a été mesurée jusqu'en 1896, lorsque le sphygmomanomètre a été développé par un médecin italien, Scipione Riva-Rocci.

ⁱⁱ Guillen, M., "Five Equations That Changed the World," Hyperion, New York, NY 1995.

ⁱⁱⁱ Hazen, A. and Williams, G.S., "The Elements of Gaging and the Friction of Water Flowing in Pipes, Aqueducts, Sewers, Etc...", John Wiley and Sons, London, First Edition, 1905.

La Mise en Contexte

La conduite de 1922 est un tuyau de 8 pouces dans un quartier résidentiel (voir Figure 1). La section testée présente des pertes faibles, avec uniquement des branchements de services résidentiels sur la longueur testée.

Les sites de mesure situés à environ 300 pieds l'un de l'autre, intégraient les branchements des 152 et 174, rue Grove. Il s'agissait des mêmes emplacements que ceux utilisés lors des tests précédents, ce qui donne une excellente opportunité d'évaluer l'état à long terme du mortier de ciment.

Les équipes de Charleston Water System et de M.E. Simpson Co. ont travaillé ensemble pour s'assurer que le sens de l'écoulement soit limité à la conduite en fermant les vannes d'isolement à proximité. Ils ont ensuite ouvert un poteau d'incendie à l'extérieur de la section testée afin d'établir un débit constant dans la conduite. Le Charleston Water System a également excavé le tuyau à mi-chemin entre les deux extrémités de la zone testée afin d'installer un robinet de prise et de déterminer le diamètre intérieur et la vitesse d'écoulement en insérant un pied à coulisse (pour mesurer le diamètre intérieur) et un tube de Pitot (pour les mesures de vitesse).

Le débit de l'eau dans le tuyau est considéré comme un « écoulement turbulent* », donc la vitesse doit être mesurée en plusieurs points couvrant le diamètre intérieur du tuyau. L'espacement des lectures est établi selon le diamètre intérieur mesuré. À partir de ces lectures, une vitesse moyenne est déterminée en utilisant la « méthode des aires égales » pour un écoulement turbulent.



* Dans un écoulement turbulent, la vitesse de l'eau à un point donné subit continuellement des changements d'amplitude et de direction, tandis que son volume total se déplace dans une direction spécifique. (Encyclopedia Britannical).

Figure 1: Plan du site d'essai sur la rue Grove

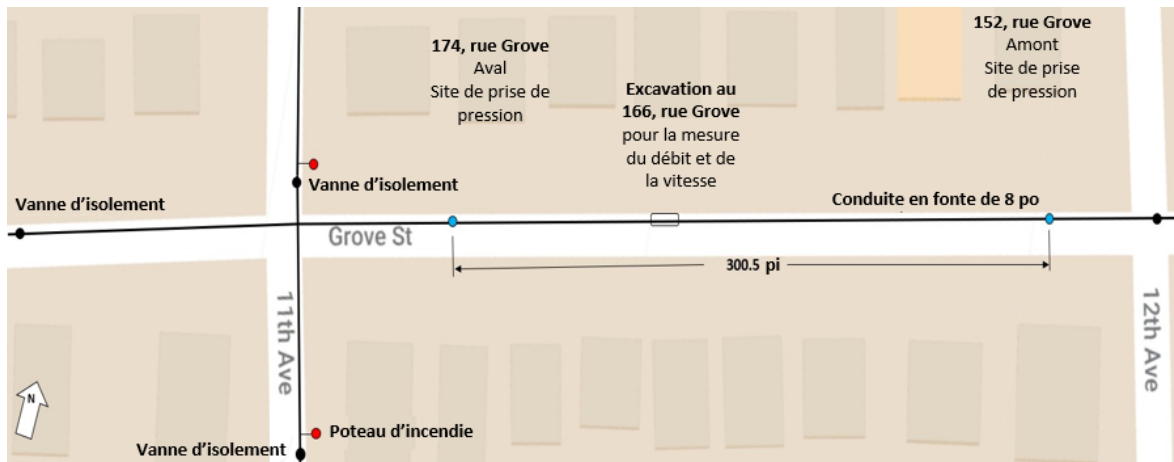


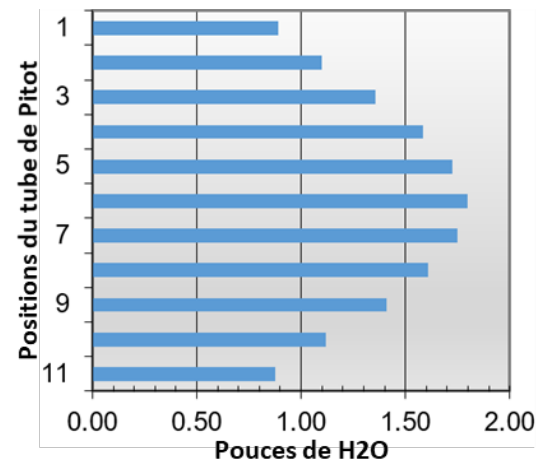
Figure 1: Plan du site d'essai sur la rue Grove: Plan schématique du test d'écoulement. La perte de charge et la vitesse sont mesurées à l'aide d'un enregistreur de pression différentielle Polcon Sentry connecté à des sites présélectionnés en amont et en aval. Le débit est stabilisé en fermant les vannes d'isolement appropriées et l'ouverture d'un poteau d'incendie à l'extérieur de la section de conduite à l'essai.

Figure 2: Débitmètres Sentry



Figure 2: Débitmètres Sentry utilisés pour mesurer la vitesse et la perte de charge. À droite, le profil représentatif de l'écoulement turbulent dans une conduite

Profil de vitesse d'écoulement turbulent typique



Après avoir déterminé la vitesse, des essais d'écoulements ont été effectués à l'aide d'un enregistreur de pression différentielle, Polcon Sentry, connecté aux deux extrémités de la conduite testée. L'enregistreur de pression différentielle tient compte des différences de pression et d'élévation avec une précision au 1/10 000e de pouce d'eau.

Avec ces mesures, l'équation de Hazen-Williams a été résolue pour obtenir la valeur de C:

$$C = \frac{V}{1.318(R)^{0.63}(H_L/L)^{0.54}}$$

Avec:

C = Coefficient de rugosité Hazen-Williams

V = Vitesse moyenne d'écoulement (pi/sec)

R = Rayon hydraulique (pi) = Diamètre intérieur du tuyau / 4

H_L = Perte de charge (pi)

L = Longueur de la conduite (pi)

1.318 = Facteur de conversion pour les unités anglaises (1/sec)

Résultats des tests à Charleston

Cinq tests ont été effectués sur la conduite. Les données et résultats pour la moyenne des cinq tests, et chacun des tests individuels sont présentés dans le tableau 1 ci-dessous:

Tableau 1: Données sur la conduite et résultats des tests

Données de la Conduite	
Longueur de la conduite testée	300.5 pi
Diamètre intérieur mesuré	7.625 po
Rayon hydraulique du tuyau	0.1589 pi

Résultats des Tests						
Numéro de Test	Moment de la Journée	Débit (gal/m)	Vitesse (pi/s)	Perte de Charge (po d'eau)	Perte de Charge par Pied	C
Test 1	1:15 PM	330.4	2.3216	9.1444	0.0025	141.6
Test 2	1:30 PM	331.9	2.3321	9.8240	0.0027	136.8
Test 3	1:50 PM	329.8	2.3173	9.2161	0.0026	140.7
Test 4	2:05 PM	329.6	2.3159	9.1841	0.0025	140.9
Test 5	2:15 PM	329.7	2.3166	9.2395	0.0026	140.5
Moyenne des Résultats		330.3	2.3207	9.3216	0.00258	140.1

Tableau 1: Les résultats de cinq essais d'écoulement sur un tuyau en fonte revêtu de mortier de ciment vieux de 97 ans. La moyenne des cinq tests a révélé un coefficient C de 140, qui valide la recommandation faite pour les tuyaux en fonte ductile revêtus de mortier de ciment. L'âge de la conduite fournit une excellente preuve de la longévité des revêtements en mortier de ciment.

Figure 3: Mesures de Vitesse

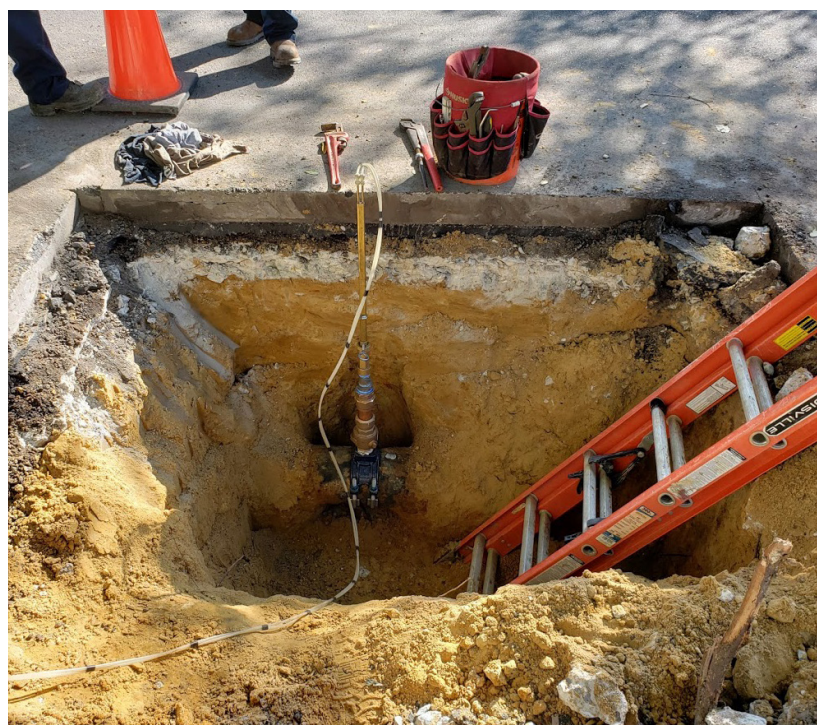


Figure 3: Tuyau taraudé avec tube de Pitot inséré. Mesures de vitesse prises en des points couvrant le diamètre intérieur du tuyau.

La moyenne des cinq tests C = 140.1, un résultat très encourageant, indique que le mortier de ciment fait toujours son travail, protégeant l'intérieur du tuyau tout en continuant à présenter une exceptionnelle surface "lisse" après un impressionnant 97 ans de service.

Il est intéressant de noter que les résultats des tests effectués en 2019 semblent être meilleurs que les résultats précédents pour cette conduite. La précision des instruments utilisés par M.E. Simpson peut expliquer en grande partie cette amélioration. Un autre facteur serait le programme de rinçage du réseau qui fait partie des protocoles d'entretien du service d'approvisionnement en eau de Charleston.

i Pour plus de détails sur la procédure de test et les calculs, le rapport de DIPRA "Report of Flow Test - 8-inch Cast Iron Pipe - Charleston, SC, November 19, 2019" est disponible sur demande.

Des Résultats Cohérents au Fil des Années

DIPRA a effectué des dizaines d'essais d'écoulement au fil des années pour établir la valeur recommandée de C pour les tuyaux revêtus de mortier de ciment. Le Tableau 2 résume ces résultats, dont la valeur moyenne est à la base de la recommandation de DIPRA de C=140 pour les tuyaux revêtus de mortier de ciment. Un graphique de ces résultats individuels à la Figure 4 fournit une représentation visuelle de la façon dont les résultats chevauchent la valeur de C=140 recommandé.

Tableau 2: Essais de Débit de Tuyaux en Fonte Grise et Fonte Ductile Avec Revêtement en Mortier de Ciment Après des Périodes Prolongées

Emplacement	Diam. (Pouces)	Longueur (Pieds)	Âge (Années)	Hazen-Williams C	Emplacement	Diam. (Pouces)	Longueur (Pieds)	Âge (Années)	Hazen-Williams C
Baltimore, MD	12	909	18	136	Dothan, AL	12	1000	5	137
Birmingham, AL	6	473	6	141	Greenville, SC	30	87,400	13	148
	6	473	14	138		30	87,400	20	146
	6	473	17	133		30	50,700	19	148
Blackwood, NJ	12	1546	11	131		30	50,700	25	146
Catskill, NY	16	30,825	25	136	Greeneville, TN	12	500	13	134
Champaign, IL	16	3,920	12	137		12	500	29	137
	16	3,920	22	139		12	500	36	146
	16	3,920	28	145	Knoxville, TN	10	500	16	134
	16	3,920	36	130		10	500	32	135
Charleston, SC	6	300	12	146		10	500	39	138
	6	300	16	143	Manchester, NH	12	550	5	142
	8	300	51	131		12	550	21	135
	8	300	59	130		12	1,955	45	133
	8	300	77	130	Memphis, TN	10	1,070	31	135
	8	300	97	140	Orange, CA	6	1,004	26	140
	12	500	15	145	Safford, AZ	10	23,200	16	144
	12	500	25	136	S. Burlington, VT	24	1,373	8	138
Chicago, IL	36	7,200	12	151	Seattle, WA	8	2,686	29	139
Concord, NH	12	500	13	143	Tempe, AZ	6	1,235	24	144
	12	500	29	140	Tacoma, WA	8	2,257	16	136
	12	500	36	140	Wister, OK	18	3,344	30	139
Danvers, MA	20	500	31	135					
	20	500	38	133					

La valeur des revêtements en mortier de ciment a été confirmée dans un certain nombre d'articles et d'études techniques^{2,3,4,5,6,7} au fil des ans, probablement l'étude la plus complète est celle menée par la Water Research Foundation (WRF) dans leur rapport de 2011 "Life Expectancy of Cement Mortar Linings in Cast and Ductile Iron Pipes"⁸. Une des principales conclusions de ce rapport est que « (l')évaluation de 121 échantillons, ainsi que la révision des rapports provenant de diverses sources sur la performance du revêtement de mortier de ciment, conduit à la conclusion que... les tuyaux en fonte revêtus de mortier de ciment ont généralement une durée de vie supérieure à 100 ans. » De même, les informations sur les produits et les matériaux et les directives concernant le code d'alimentation en eau de l'Australie indiquent « ... confiance d'une durée de vie supérieure à 100 ans'' pour les revêtements en mortier de ciments.⁹

Les résultats des essais du tuyau en fonte revêtu de mortier de ciment de 97 ans à Charleston soutiennent certainement ces conclusions.

Figure 4: Graphique des Résultats du Coefficient C

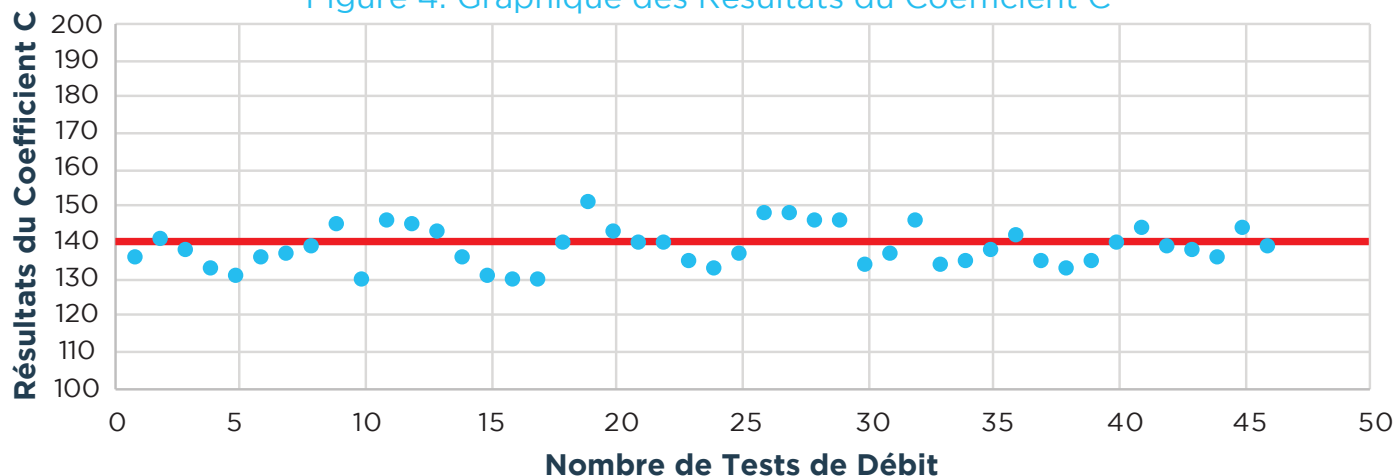


Figure 4: Résultats des tests de débit du Tableau 2 – la base du C de 140 pour les tuyaux en fonte ductile revêtus de mortier de ciment.

Écoulement Turbulent Dans les Conduites D'eau

Les modèles hydrauliques conviennent depuis longtemps que les tuyaux dont les surfaces internes sont classées comme “lisses” auront des valeurs similaires pour le coefficient C. Ceci est dû au fait que dans un écoulement turbulent, il y a une couche laminaire d'eau qui épouse la circonférence intérieure du tuyau. Dans les tuyaux lisses, la perte de charge résulte de la force de cisaillement entre la couche laminaire et le régime turbulent qui occupe le reste du diamètre intérieur. Si la surface intérieure du tuyau est plus “lisse” que l'épaisseur de la couche laminaire, tous les tuyaux lisses auront pratiquement le même coefficient C¹⁰.

Puisque les conduites en plastique utilisées dans les infrastructures d'eau en Amérique du Nord ont les mêmes diamètres extérieurs que les conduites en fonte ductile, les diamètres intérieurs diffèrent – à l'avantage de la fonte ductile. Les tuyaux en plastique ont des parois plus épaisses car il s'agit d'un matériau beaucoup plus faible. C'est la principale raison des avantages d'économie d'énergie et d'émission de gaz à effet de serre des tuyaux en fonte ductile.

Pour démontrer cet avantage, DIPRA a effectué des tests de débit à Blackwood, NJ¹¹; Dothan, AL¹²; and Wister, OK¹³ qui comparent les tuyaux en fonte ductile revêtus de mortier de ciment et les tuyaux en PVC. Notez à quel point les valeurs résultantes pour C sont similaires. Ces résultats correspondent à la théorie hydraulique moderne de l'écoulement dans les tuyaux et ont montré pourquoi le diamètre intérieur plus grand de la fonte ductile présente des économies d'énergie vérifiables, comme indiqué ci-dessous.

Figure 5: Résultats des Tests de Débit

Emplacement	Années d'installation	Année testée	Diamètre (po)	Débit (gal/m)	Matériau du tuyau	Diamètre intérieur mesuré (po)	Coefficient C	Vitesse (pi/s)	Perte de Charge (pi/1000pi)
Blackwood, NJ	1975	1986	12	750	CML DI	12.20	131	2.0	1.2
	1976				PVC	11.53	138	2.3	1.5
Dothan, AL	1981	1986	12	750	CML DI	12.28	137	2.0	1.2
	1980				PVC	11.65	140	2.3	1.5
Wister, OK	1969	1999	18	1500	CML DI	18.53	139	1.8	0.6
	1998				PVC	17.08	141	2.1	0.8

Figure 5: Notez la proximité des valeurs calculées pour C. Notez également que lorsque le débit à travers ces tuyaux est normalisé, c'est le diamètre intérieur réel qui est le déterminant de la perte de charge pour chaque tuyau. Une perte de charge plus élevée se traduit par plus d'énergie requise pour fournir un débit donné; et plus d'émissions de gaz à effet de serre résultant de la consommation de carburant

Informations que les Services Publics Peuvent Utiliser en Toute Confiance

DIPRA mène des recherches pour bien comprendre les performances des tuyaux en fonte dans les conditions variables qu'ils peuvent rencontrer lorsqu'ils sont en service. Nous travaillons pour nous assurer que les services publics qui font confiance au tuyau en fonte croient à la valeur qu'offre cette conduite résiliente et fiable.

Les résultats de cet essai d'écoulement d'un tuyau en fonte âgé de 97 ans sur la rue de Grove à Charleston, SC, fournissent une preuve définitive de l'efficacité à long terme des tuyaux en fonte revêtus de mortier de ciment.

DIPRA prend note du professionnalisme dont a fait preuve M.E. Simpson Co. dans la réalisation de ces tests. DIPRA reconnaît également le caractère «au-delà» de la coopération que nous a offerte Charleston Water System dans la conduite de ce travail.

C'est ce type de coopération qui est la pierre angulaire de ces professionnels qui fournissent de l'eau potable sûre et fiable à plusieurs millions de clients en Amérique du Nord. Nous exprimons notre gratitude et notre reconnaissance à ceux qui aident à établir la barre des "meilleures pratiques" pour l'industrie de la distribution d'eau.

Références

- 1 Gibson, J.E., "Experience with Cement-Lined Cast Iron Pipe," *presented at Joint Meetings of the Plant Management and Operation and Fire Protection Divisions*, Buffalo, NY, June 11, 1926.
- 2 Welch, G. B. and Hattersley, D.E., "Report on Cement-Mortar Lined Cast Iron Pipes," *University of New South Wales School of Civil Engineering*, November 1971.
- 3 Scott, G. N., "Corrosion Protection Properties of Portland Cement Concrete," *Journal of the American Water Works Association*, August 1965, pp1038-1052.
- 4 Hall, S., "Corrosion Protection Provided by Mortar Lining in Large Diameter Water Pipelines After Many Years of Service," *American Society of Civil Engineers*, Proceedings of the 2013 International Pipelines Conference, Ft. Worth, Texas, June, 2013.
- 5 Gibson, J.E., "Experience with Cement-Lined Cast Iron Pipe," *presented at Joint Meetings of the Plant Management and Operation and Fire Protection Divisions*, Buffalo, NY, June 11, 1926.
- 6 Miller, W.T., "Durability of Cement-Mortar Linings in Cast Iron Pipe," *Journal of the American Water Works Association*, Denver, CO, June 1965, pp773-782.
- 7 Product and Material Information and Guidance - Water Supply Code of Australia, *Water Services Association of Australia*, Version 1.1, WSA 03-2011, p10.
- 8 Munster, T., Davis, P. et al, "Life Expectancy of Cement Mortar Linings in Cast and Ductile Iron Pipes," *Water Research Foundation*, Denver, CO, USA and *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*, Highett, Victoria, Australia, 2011.
- 9 Product and Material Information and Guidance - Water Supply Code of Australia, *Water Services Association of Australia*, Version 1.1, WSA 03-2011, p10.
- 10 Lamont, P.A., "Common Pipe Flow Formulas Compared with the Theory of Roughness," *Journal of the American Water Works Association*, Denver, CO, May 1981.
- 11 "Report on Flow Test: 12-inch Ductile Iron Pipe & 12-inch PVC Pipe, Blackwood, NJ," *Ductile Iron Pipe Research Association*, May 14, 1986.
- 12 "Report on Flow Test: 12-inch Ductile Iron Pipe & 12-inch PVC Pipe, Dothan, Alabama," *Ductile Iron Pipe Research Association*, February 25-26, 1986.
- 13 "Report on Flow Test: 18-inch Ductile Iron Pipe and 18-inch PVC Pipe; Poteau Valley Improvement Authority, Wister, OK," *Ductile Iron Pipe Research Association*, October 19, 1999.

DIPRA ou l'un de ses membres.

DIPRA

Une association de fabricants de tuyaux en 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, Alabama 35219
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 internet (www.dipra.org) pour en savoir plus sur DIPRA, et d'accéder à une variété de ressources d'information sur les tuyaux en fonte ductile.



Membres

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

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

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

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

Le tuyau en fonte ductile est

